This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

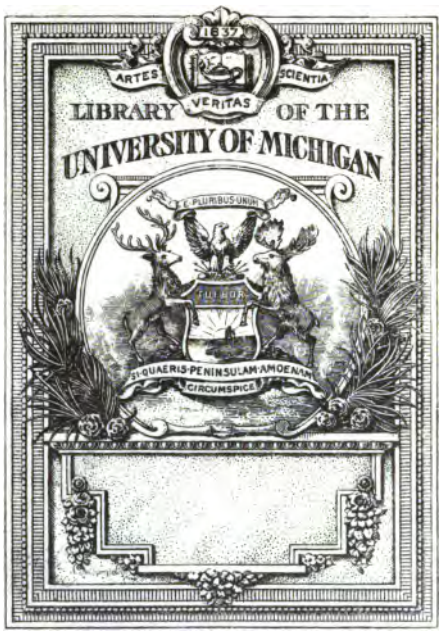
+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

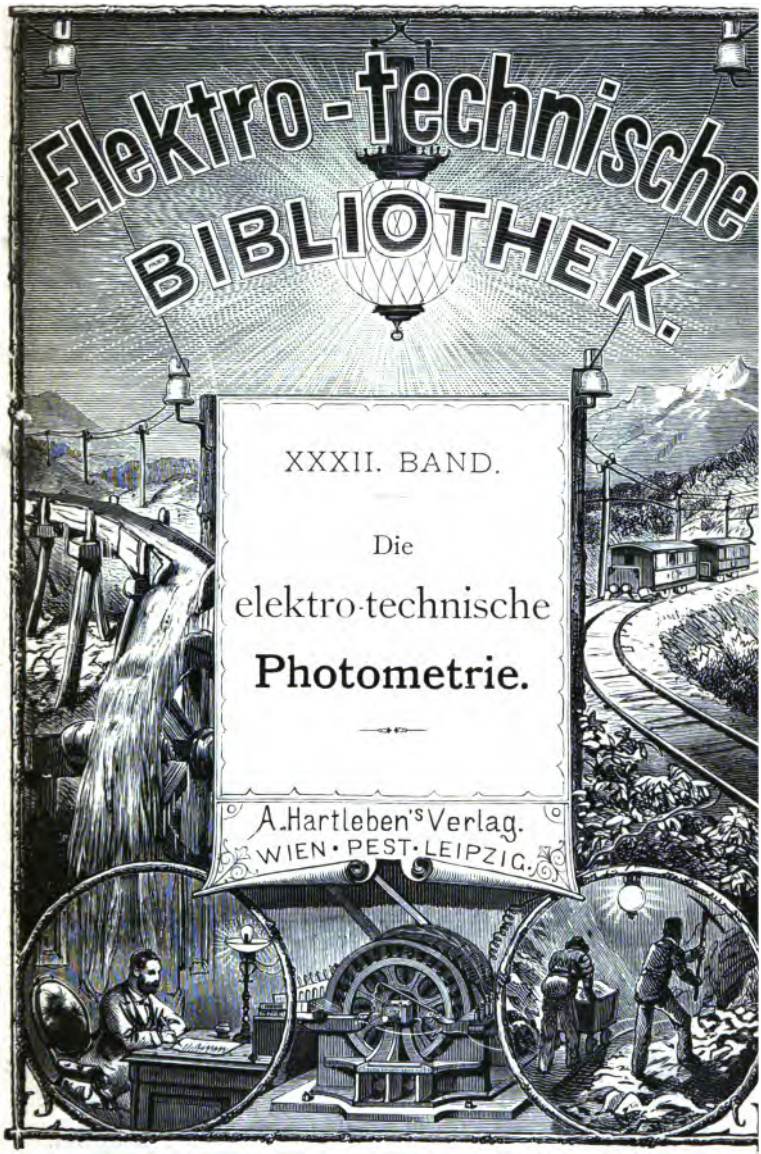
+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.


1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

QC
391
.K94


Elektro-technische
BIBLIOTHEK.
XXXII. BAND.
Die
elektro-technische
Photometrie.
A. Hartleben's Verlag.
WIEN · PEST · LEIPZIG.

A. Hartleben's Elektro-technische Bibliothek.

In reich illustrirten Bänden, geheftet à 1 fl. 65 kr. = 3 Mark = 4 Francs = 1 R. 80 Kop.; eleg. gebunden à 2 fl. 20 kr. = 4 Mark = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R. 40 Kop.
Jeder Band ist für sich vollkommen abgeschlossen und einzeln käuflich.

Inhalt der Sammlung:

I. Band. **Die magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen** und die sogenannten Secundär-Batterien, mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction. Von Gustav Glaser De Cew. 4. Auflage. — II. Band. **Die elektrische Kraftübertragung** und ihre Anwendung in der Praxis, mit besonderer Rücksicht auf die Fortleitung und Vertheilung des elektrischen Stromes. Von Eduard Japing. 2. Auflage. — III. Band. **Das elektrische Licht.** Von Dr. A. v. Urbanitzky. 2. Auflage. — IV. Band. **Die galvanischen Batterien, Accumulatoren und Thermosäulen.** Eine Beschreibung der hydro- und thermo-elektrischen Stromquellen mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von W. Ph. Hauck. 2. Auflage. — V. Band. **Die Verkehrs-Telegraphie,** mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von J. Sack. — VI. Band. **Telephon, Mikrophon und Radiophon,** mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von Theodor Schwartze. 2. Auflage. — VII. Band. **Die Elektrolyse, Galvanoplastik und Reinmetallgewinnung,** mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendung in der Praxis. Von Eduard Japing. 2. Auflage. — VIII. Band. **Die elektrischen Mess- und Präcisions-Instrumente.** Ein Leitfaden der elektrischen Messkunde. Von A. Wilke. 2. Auflage. — IX. Band. **Die Grundlehren der Elektricität,** mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von W. Ph. Hauck. 2. Auflage. — X. Band. **Elektrisches Formelbuch** mit einem Anhange, enthaltend die elektrische Terminologie in deutscher, französischer und englischer Sprache. Von Prof. Dr. P. Zech. — XI. Band. **Die elektrischen Beleuchtungs-Anlagen,** mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Ausführung. Von Dr. A. von Urbanitzky. 2. Auflage. — XII. Band. **Die elektrischen Einrichtungen der Eisenbahnen und das Signalwesen.** Von L. Kohlfürst. — XIII. Band. **Die elektrischen Uhren und die Feuerwehr-Telegraphie.** Von Dr. A. Tobler. — XIV. Band. **Die Haus- und Hôtel-Telegraphie.** Von O. Canter. — XV. Band. **Die Anwendung der Elektricität für militärische Zwecke.** Von Dr. Fr. Waechter. — XVI. Band. **Die elektrischen Leitungen und ihre Anlage für alle Zwecke der Praxis.** Von J. Zacharias. — XVII. Band. **Die elektrische Eisenbahn** bezüglich ihres Baues und Betriebes. Von Josef Krämer. — XVIII. Band. **Die Elektro-Technik in der praktischen Heilkunde.** Von Prof. Dr. Rud. Lewandowski. — XIX. Band. **Die Spannungs-Elektricität, ihre Gesetze, Wirkungen und technischen Anwendungen.** Von Prof. K. W. Zenger. — XX. Band. **Die Weltliteratur der Elektricität und des Magnetismus, 1860—1883.** Von Gustav May. — XXI. Band. **Die Motoren der elektrischen Maschinen** mit Bezug auf Theorie, Construction und Betrieb. Von Theodor Schwartze. — XXII. Band. **Die Generatoren hochgespannter Elektricität.** Von Prof. Dr. J. G. Wallentin. — XXIII. Band. **Das Potential** und seine Anwendung zur Erklärung elektrischer Erscheinungen. Von Dr. O. Tumlirz. — XXIV. Band. **Die Unterhaltung und Reparatur der elektrischen Leitungen.** Von J. Zacharias. — XXV. Band. **Die Mehrfach-Telegraphie auf Einem Drahte.** Von A. E. Granfeld. — XXVI. Band. **Die Kabeltelegraphie.** Von Max Jüllig. — XXVII. Band. **Das Glühlicht,** sein Wesen und seine Erfordernisse. Von Etienne de Fodor. — XXVIII. Band. **Geschichte der Elektricität.** Von Dr. Gustav Albrecht. — XXIX. Band. **Blitz und Blitz-Schutzvorrichtungen.** Von Dr. A. v. Urbanitzky. — XXX. Band. **Die Galvanostegie** mit besonderer Berücksichtigung der fabriksmässigen Herstellung dicker Metallüberzüge. Von Josef Schaschl. — XXXI. Band. **Die Technik des Fernsprechwesens.** Von Dr. V. Wietlisbach. — XXXII. Band. **Die elektro-technische Photometrie.** Von Dr. Hugo Krüss. — u. s. w. u. s. w.

Einbanddecken pro Band 40 Kr. = 75 Pf. = 1 Fr. = 45 Kop.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

DIE

96810

ELEKTRO-TECHNISCHE

PHOTOMETRIE.

Von

Andres
Dr. Hugo Krüss.

Mit 50 Abbildungen.

WIEN, PEST, LEIPZIG.
A. HARTLEBEN'S VERLAG.
1886.

Uebersetzungsrecht vorbehalten.

Druck von Friedrich Jasper in Wien.

Vorwort.

Im Laufe des letzten Jahrzehntes erst ist das elektrische Bogen- und Glühlicht voll und ganz in den Wettkampf mit den bisherigen Beleuchtungsmethoden eingetreten. Mehr und mehr hat sich in Folge dessen eine Messung der Helligkeit des elektrischen Lichtes als unerlässlich herausgestellt, um seine Verwerthbarkeit mit derjenigen anderer Beleuchtungsmethoden zu vergleichen. Derartige Messungen bieten ausserdem neben den Messungen über Kraftverbrauch in den Elektricitätserzeugungs-Apparaten und über die elektrischen Verhältnisse in diesen und in den Lampen das nothwendige Material zur Vergleichung der verschiedenen Constructionen elektrischer Beleuchtungsanlagen unter einander.

In Folge dessen hat man bei Gelegenheit der Elektricitäts-Ausstellungen, wie in elektrotechnischen Instituten und Fabriken vielfach Helligkeitsmessungen des elektrischen Lichtes vorgenommen. Es hat sich

dabei herausgestellt, dass das Feld der elektrotechnischen Photometrie durchaus nicht so einfach zu bearbeiten sei, dass die Aufgaben, welche auf demselben erwachsen, nicht so einfach zu erledigen sind, wie es nach Einblick in die meist recht kurzen Capitel über Photometrie, welche in den bisherigen physikalischen Lehrbüchern enthalten waren, von vorneherein zu erwarten stand.

Mit den neuen Aufgaben, welche der praktischen Photometrie erwuchsen, traten bisher ungekannte Schwierigkeiten auf. Dieselben haben zumeist ihren Grund in den grossen Helligkeiten, welche mit Hilfe des elektrischen Stromes erzeugt werden können, in dem Farbenunterschiede zwischen der zu messenden und der Mass-Lichtquelle, in der ungleichmässigen Lichtausstrahlung in verschiedene Richtungen des Raumes und endlich in der ungenügenden Beschaffenheit der bisherigen Lichteinheiten.

Bedeutende Männer suchten theoretisch und praktisch diese Schwierigkeiten zu überwinden durch Aufstellung neuer Methoden und Construction neuer Apparate, und der emsige Fleiss, welcher das Arbeiten auf elektrotechnischem Gebiete in den letzten Jahren kennzeichnet, ist in vollem Masse auch in dem Ausbaue der elektrotechnischen Photometrie zu Tage getreten. Es erschien mir deshalb die mir von der verehrlichen Verlagsbuchhandlung gestellte Aufgabe, ihre »Elektro-

technische Bibliothek« durch einen Band über die elektrotechnische Photometrie zu vervollständigen, wohl verlockend. Ich meinte zur Erfüllung dieser Aufgabe befähigt zu sein, da ich von Anfang der geschilderten Bewegung an theoretisch wie praktisch in der elektrotechnischen Photometrie thätig gewesen bin und unterwerfe nunmehr dem Urtheile des sachverständigen Leserkreises die Entscheidung, wie weit mir solches gelungen ist. Ich kann nur die eine Bemerkung nicht unterdrücken, dass es mir häufig schwer geworden ist, in dem beschränkten Raume des vorliegenden Bandes diese Aufgabe erschöpfend zu bewältigen. Diesen Mangel versuchte ich einigermassen dadurch auszugleichen, dass ich hierzu ein möglichst vollständiges Literaturverzeichniss gegeben habe. Somit darf ich wohl die Hoffnung hegen, dass dieses Buch denjenigen, welche sich über die einschlägigen Fragen zu unterrichten wünschen, eine nützliche Handhabe bieten wird.

Der Verfasser.

Inhalt.

Seite

Vorwort V

Inhalt VIII

Illustrations-Verzeichniss X

Literatur-Uebersicht XII

Allgemeines. — Die Photometer. — Normal- und Vergleichslichtquellen. — Die elektrotechnische Photometrie. — Der Glanz der Lichtquellen. — Das Maass der Beleuchtung. — Der Lichtverlust durch Absorption. — Die Spectro-Photometrie.

I. Die Grundlagen der Photometrie 1

Mathematische Gesetze über die Ausbreitung des Lichtes 1. — Logische Grundlagen der Photometrie 5. — Physiologische Verhältnisse des menschlichen Auges: Veränderlichkeit der Pupillenöffnung; Unterschiedsempfindlichkeit 15. — Photometrie verschiedenfarbigen Lichtes 19.

II. Die Photometer 27

1. Photometer beruhend auf alleiniger Benutzung der photometrischen Grundgesetze 28. — Photometer von Bouguer 28. — Photometer von Ritchie 29. — Photometer von Foucault 30. — Photometer von Rumford 31. — Photometer von Bunsen 32.

2. Photometer mit Benutzung verschiedener physikalischer Thatsachen 41: — Absorptions-Photometer von Stevenson, Pickering, Sabine, Hähnlein 41. — Photometer von Guthrie, Napoli, Hammerl 42. — Photometer von Perry und Ayrton 42. — Photometer von Cornu 42. — Polarisations-Photometer 43. — Photometer v. Wheatstone u. Masson 44.

3. Photometer zur Bestimmung des Beleuchtungswerthes der Lichtquellen 45. — Photometer von L. Weber 46.

III. Besondere Vorrichtungen zur elektrotechnischen Photometrie 51

Theorie der Dispersionslinsen 52. — Anwendung farbiger Mittel 57. — Compensations-Photometer von Krüss 74. — Bestimmung der in verschiedenen Richtungen von einer Lichtquelle ausgesandten Lichtmengen 85.

Seite

IV. Normal- und Vergleichslichtquellen 96

Carcel-Lampe 97. — Kerzen 98. — Platineinheit von Schwendler 111. — Normalgasbrenner von Giroud 116. — Pentangasbrenner von Harcourt 125. — Amylacetatlampe von Hefner-Alteneck 126. — Die Platinlichteinheit 132. — Zwischenlichtquellen 143.

V. Die elektrotechnische Photometrie 147

Versuche von Fizeau und Foucault 148. — Versuche von Casselmann 153. — Versuche von E. Becquerel 154. — Versuche von Tresen, Hagenbach, Heilmann, Ducommun und Steinlen 155. — Versuche auf South-Foreland-Leuchtthurm 157. — Versuche von Fontaine, Allard, Sautter, Lemonnier 161. — Versuche über die Jablochkoff'sche Kerze 177. — Die Elektricitäts-Ausstellung in Paris 1881 179. — Versuche von Morton und Hawell über Glühlampen 183. — Die Elektricitäts-Ausstellung in München 1882 185. — Die Elektricitäts-Ausstellung in Wien 1883 205. — Elektrotechnische Institute 207. — Die Elektricitäts-Ausstellung in Philadelphia 1884 210. — Arbeiten von W. Müller, Jamieson, Voit, Bernstein, Rittler, Abney, Preece, Peukert, Siemens 214.

VI. Der Glanz der Lichtquellen 217

Untersuchungen von Allard 218. — Untersuchungen von Voit und Renk 220.

VII. Das Maass der Beleuchtung 223

Definition der Meterkerze 224. — Vertheilung der Beleuchtung in einer Ebene 227. — Vertheilung der Lichtquellen im Freien 239. — Beleuchtung geschlossener Räume 243.

VIII. Der Lichtverlust durch Absorption 254

Absorption in der Atmosphäre; Transparenz-Coëfficient 254. — Auswählende Absorption im Nebel 256. — Absorption durch Glasglocken 259. — Reflectoren 260.

IX. Die Spectro-Photometrie 261

Spectro-Photometer von Fraunhofer 261. — Spectro-Photometer von Vierordt 263. — Spectro-Photometer von Glan 268.

Namen- und Sachregister 269

Illustrations-Verzeichniss.

		Seite
Fig.	1. Ausbreitung des Lichtes	1
»	2. Auffall der Strahlen unter verschiedenen Winkeln	3
»	3. Photometrisches Grundgesetz	4
»	4. Helligkeit verschiedener Farben	25
»	5. Photometer von Bouguer-Lambert	29
»	6. » » Ritchie	29
»	7. » » Rumford	31
»	8. » » Bunsen	33
»	9. » » »	34
»	10. » » »	36
»	11. Reflexionsprismen von Krüss	39
»	12. Photometer von Wheatstone	44
»	13. » » Weber	47
»	14. » » Ayrton und Perry	53
»	15. Dispersionslinse	54
»	16. Compensations-Photometer von Krüss	77
»	17. » » »	82
»	18. » » »	83
»	19. Spiegel für Bogenlampen	88
»	20. » » »	89
»	21. Aufstellung von Bogenlampen und Spiegel	90
»	22. » » » » »	91
»	23. » » » » »	92
»	24. Optisches Flammenmaass von Krüss	104
»	25. Kerzenwaage von Krüss	105
»	26. Platinlichteinheit von Schwendler	111
»	27. Kerzengasbrenner von Giroud	117

Seite

Fig. 28. Normallampe von Hefner-Alteneck 127
» 29. Platinlichteinheit von Violle 134
» 30. » » Siemens 138
» 31. » » » 138
» 32. Intensivbrenner von Giroud 145
» 33. Bild der glühenden Kohlenspitzen 158
» 34. Intensitätscurve für Bogenlicht mit Gleichstrom und Wechselstrom 166
» 35. Intensitätscurve für die Jablochkoff'sche Kerze . . . 177
» 36. Photometrisches Laboratorium der Elektricitäts-Ausstellung in München 192
» 37. Intensitätscurve einer Edison-Lampe 201
» 38. » » Swan-Lampe 201
» 39. Photometrisches Laboratorium der elektrotechnischen Versuchsanstalt in München 207
» 40. Photographie von Gasflammen und Glühlampen gleicher Helligkeit 221
» 41. Photographie von Gasflammen und Glühlampen gleicher Helligkeit 221
» 42. Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke von Höhe der Lichtquelle und Neigung der Strahlen 227
» 43. Beleuchtungsstärken 229
» 44. Curve der Beleuchtungswirkung 235
» 45. Maass der überflüssigen Beleuchtung 238
» 46. Vertheilung der Lichtquellen in einem Raume 250
» 47. Absorptionsverlust des Gaslichtes 257
» 48. » » elektrischen Bogenlichtes 257
» 49. Spectralspalt von Vierordt 264
» 50. Spectro-Photometer nach Voit-Krüss 267

Literatur-Uebersicht.*)

Allgemeines.

1729. *Bouguer.* Essai d'Optique. Paris.

1760. — Traité d'Optique sur la gradation de la lumière, publ. par La Caille. Paris. Latein. Uebers. Wien 1762.

1760. *J. H. Lambert.* Photometria, sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae. Augusta Vindelicorum.

1854. *A. Beer.* Grundriss des photometrischen Calculs. Braunschweig.

1859. *Fr. Zöllner.* Photometrische Untersuchungen. Inaugur. Diss. Basel. Pogg. Ann. 109, 144.

1861. *G. Recknagel.* Lambert's Photometrie. Preisschrift. München.

1870. *W. v. Bezold.* Einige analoge Sätze der Photometrie und Anziehungslehre. Pogg. Ann. 141, 91.

1871. *J. Wessely.* Analytisch-geometrische Auflösung einiger photometr. Probleme. Zeitschr. f. Math. u. Phys. 16, 324.

1872. *S. Günther.* Studien zur theoretischen Photometrie. Erlangen.

1882. *H. Krüss.* Die Grundlagen der Photometrie. Abhdlg. des Naturw. Ver. Hbg. (7), 2, 28; Journ. f. Gasbel. 1883, 49; C. Z. f. Opt. u. Mech. 4, 124.

— *Fr. Meisel.* Ueber die Bestrahlung einer Kugel durch eine Kugel. Zeitschr. f. Math. u. Phys. 27, 66.

— *M. de Lépinay* u. *A. Nicati.* Recherches expérimentales sur le phénomène de Purkinje. Journ. de Phys. (2), 1, 42 u. 86.

— — — Rélation entre la loi de Bouguer-Masson et le phénomène de Purkinje. C. R. 94, 785.

Die Photometer.

1729. *Bouguer.* Essai d'Optique. Paris.

1760. — Traité d'Optique sur la gradation de la lumière, publ. par La Caille. Paris. Latein. Uebers. Wien 1761.

1760. *J. H. Lambert.* Photometria, sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae. Augusta Vindelicorum.

*) Ein Theil dieser Uebersicht wurde in anderer Zusammenstellung vor $1^1/_2$ Jahren Herrn Prof. Dr. Kittler in Darmstadt für dessen »Handbuch der Elektrotechnik« vom Verfasser zur Verfügung gestellt.

1845. *A. Masson.* Etude de Photométrie électrique. Ann. de Chim. et Phys. (3), 14, 139.
1854—62. *Fr. Arago.* Oeuvres complètes 10, 184. (Polarisations-Photometer.)
1856. *H. Wild.* Ueber ein neues Photometer. Pogg. Ann. 99, 235.
1859. *C. Bohn.* Bemerkungen zu Bunsen's Photometer. Ann. der Chem. u. Pharm. 3, 335.
1863. *H. Wild.* Photometrische Untersuchungen. Pogg. Ann. 118, 193.
1869. *Fr. Rüdorff.* Photometrische Studien. Journ. f. Gasbel. 1869, 567.
1870. *K. W. Zenger.* Das Differential-Photometer. Mitth. d. Archit. u. Ing.-Ver. f. Böhmen.
1871. *J. Wessely.* Ein neues Photometer. Zeitschr. f. Math. u. Phys. 16, 324.
1874. *Fr. Rüdorff.* Ueber das Bunsen'sche Photometer. Pogg. Ann. Jubelband, 234.
1878. *N. H. Schilling.* Handbuch der Steinkohlengasbeleuchtung. 3. Aufl. 206 ff.
— *Th. Stevenson.* Die Illumination der Leuchtthürme. Deutsch von Nehls. 138 ff.
1879. *F. Guthrie.* A new Photometer. Chem. News. 40, 262.
— *Fr. Zöllner.* Das Scalen-Photometer. Lpzg.
1880. *A. Cornu.* Etudes photométriques. Journ. de Phys. 10, 189, u. Lum. électr. 3, 221.
— *D. Coglievina.* Das Centigrad-Photometer. Braunschweig.
— *D. Napoli.* Un nouveau Photomètre. Séances de la Soc. de Phys. franç. 1880, 53.
— *H. Krüss.* Zwei Sätze über das Bunsen'sche Photometer. Verhdlgn. d. Naturw. Ver. Hbg. N. F. 5, 61; Zeitschr. f. Ang. Elektr. Lehre 2, 460; Carl's Rep. 18, 54.
— *Perry* u. *Ayrton.* A dispersion-photometer. Phil. Mag. (5), 8, 117 u. 9, 45.
1881. *H. Krüss.* Photometer und Helligkeitsmessungen. C. Z. f. Opt. u. Mech. 2, 2.
— *R. Sabine.* On a wedge and diaphragma photometer. Phil. Mag. (5), 15, 22.
— *H. Krüss.* Das Centigrad-Photometer Coglievina. C. Z. f. Opt. u. Mech. 2, 109.

1882. *E. C. Pickering.* Wedge-Photometer. Nature, Juli 13; Zeitschr. f. Instrk. 2, 340.

— *F. H. Hähnlein.* Ueber Lichtmessung. Dingl. Journ. 244, 54; Journ. f. Gasbel. 1883, 659.

— *A. Voller.* Ueber die Anwendung von Dispersionslinsen bei photometrischen Messungen. Abhdlgn. d. Naturw. Ver. Hbg. (7), 2, 40.

1883. *L. Simonoff.* Sur un Photomètre optique. C. R. 97, 1053.

— *H. Hammerl.* Ueber eine Methode zur Messung der Intensität sehr heller Lichtquellen. Elektrot. Zeitschr. 4, 262.

— *L. Weber.* Zur Photometrie. C. Z. f. Opt. u. Mech. 4, 181.

— — — Mittheilung über einen photometrischen Apparat. Wied. Ann. 20, 326.

— *M. Hartley.* Photométrie. Lum. électrique 10, 58.

1884. *H. Krüss.* Eine neue Form des Bunsen-Photometers. Abhdlgn. d. Naturw. Ver. Hbg. 8, 55; C. Z. f. Opt. u. Mech. 5, 181; Journ. f. Gasbel. 1884, 587; Rep. d. Phys. 20, 729; C. B. f. Elektrot. 6, 781.

— *A. Crova.* Sur un Photomètre à diffusion. C. R. 98, 1115; Ann. de Chim. et Phys. (6), 5, 341.

— *J. Gorham.* The pupil-photometer. Proc. Lond. Reg. Soc. 37, 425.

— *W. J. Dibdin.* Some new phases in photometrical practise. Journ. of Soc. of Chem. Industry, Mai 1829.

1885. *J. Wybauw.* Un Photomètre pour foyers électrique. Bull. de la Soc. Belge d'Electr. 2, 5.

— *W. Möller.* Ueber das Wild'sche Photometer. Wied. Ann. 24, 446.

— *Th. Petruchewski.* Ein Photometer für schulhygienische Zwecke. Journ. d. russ. chem. Ges. (16), 2, 295.

— *W. J. Dibdin.* Turther notes on the radial photomèter. Journ. of Soc. of Chem. Industry, April 29.

— *H. Krüss.* Das Compensations-Photometer. Journ. f. Gasbel. 1885, 685; C. Z. f. Opt. u. Mech. 6, 219; D. Gastechn. 5, 49; C. B. f. Elektrotechn. 7, 716; Lum. électr. 19, 118.

— *A. Crova.* Sur l'emploi des écrans diffusants dans la photométrie. Ann. de Chim. et Phys. (6), 5, 342.

Normal- und Vergleichslichtquellen.

1859. *Fr. Zöllner.* Photometrische Untersuchungen. Inaug. Diss. Basel; Pogg. Ann. 109, 144.
1869. *Fr. Rüdorff.* Photometrische Studien. Journ. f. Gasbel. 1869, 568.
1872. *Buhe.* Normallichte. Journal f. Gasbel. 1872, 106.
1877. *V. Harcourt.* A new unity of light for photometry. Chem. News 36, 103 u. 44, 243.
1878. *N. H. Schilling.* Handbuch der Steinkohlengasbeleuchtung. 3. Aufl. 206 ff.
1879. *E. L. Nichols.* Ueber das von glühendem Platin ausgestrahlte Licht. Inaug. Diss. Göttingen.
— *J. Violle.* Sur la radiation du platine incandescent. C. R. 88, 171.
— *J. W. Draper.* A new unity of light. Phil. Mag. 9, 76.
1880. *L. Schwendler.* Eine neue Maasseinheit für Lichtmessungen. Zeitschr. f. angew. Elektr. Lehre 2, 14.
— The Metropolitan Gas Act. Sect. 25, London.
1881. *H. Giraud.* Experiénces sur les Bougies-Etalons. Journ. d. Usines à gaz. Déc. Paris.
— Report to the Board of Trade by a committee on Photometric Standards. London.
1882. *H. Giraud.* L'unité de lumière. Journ. d. Usines à gaz. Mai. Paris.
— *Fr. Rüdorff.* Ueber die Leistung der gebräuchlichsten Gasbrenner. Journ. f. Gasbel. 1882, 137.
1883. *D. Monnier.* Verhältnisse der verschiedenen Lichteinheiten. Journ. f. Gasbel. 1883, 750.
— *H. Krüss.* Die Einheit des Lichtes. Journ. f. Gasbel. 1883, 213; C. Z. f. Opt. u. Mech. 4, 161.
— *v. Hefner-Alteneck.* Ueber elektrische Lichtmessungen und Lichteinheiten. Elektrot. Zeitschr. 4; Journ. f. Gasbel. 1883, 830; C. B. f. Elektr. 5, 65.
— *H. Krüss.* Vergleichende Versuche mit Normalkerzen. Journ. f. Gasbel. 1883, 511.
— *J. Violle.* Intensités lumineuses des radiations émises par le platine incandescent. C. R. 92, 866.
— *H. Krüss.* Optisches Flammenmass. Journ. f. Gasbel. 1883, 717; C. Z. f. Opt. u. Mech. 4, 277; C. B. f. Elektrot. 5, 57.

1884. *v. Hefner-Alteneck.* Vorschlag zur Gewinnung einer constanten Lichteinheit. Elektrot. Zeitschr. 5, 20; Journ. f. Gasbel. 1884.

— *W. H. Preece.* Ueber Photometrie und eine neue Masseinheit. Zeitschr. f. Elektrot. 2, 228; Proc. Reg. Soc. London 36, 270.

— *J. Violle.* Sur l'étalon absolue de la lumière. Ann. de Chim. et Phys. (5), 3, 373; Segarat: Paris, Gauthier-Villars.

— *W. Siemens.* Ueber die von der Pariser internationalen Conferenz angenommene Lichteinheit. Wied. Ann. 22, 304.

— Conférence internationale pour la détermination des unités électriques. 2me session. Paris. Imp. nationale

— Die Platinlichteinheit. Journ. f. Gasbel. 1884, 763; C. B. f. Elektrot. 6, 808.

— Die Normallampe von Hefner-Alteneck. Journ. f. Gasbel. 1884, 766.

1885. *H. Krüss.* Die Maasseinheiten des Lichtes. Zeitschr. f. Electrot. 3, 33; C. Z. f. Opt. u. Mech. 6, 92.

— — — Kerzenwaage mit elektrischer Registrirung des Gleichgewichtes. Journ. f. Gasbel. 1885, 345; C. B. f. Elektrot. 7, 340; C. Z. f. Opt. u. Mech. 6, 173.

— *H. Bunte.* Erfahrungen mit der Amylacetatlampe. Journ. f. Gasbel. 1885, 796.

— *H. Krüss.* Petroleumlampen als Zwischenlichtquellen in der elektrotechnischen Photometrie. C. B. f. Elektrot. 7, 287; D. Elektrot. 4, 521; C. Z. f. Opt. u. Mech. 6, 194; Zeitschr. f. Elektrot. 3, 559.

— *W. Abney.* On fixing a standard of light. Rep. of Brit. Ass. f. the Adv. of. Sc. 422.

— *A. V. Harcourt.* On a lamp giving a constant light. Ebendas. 426.

1886. *v. Hefner-Alteneck.* Zur Frage der Lichteinheit. Journ. f. Gasbel. 1886, 3.

— *T. A. Edison.* Ein neues elektrisches Normalmaass für Lichtmessung. D. Elektrot. 4, 385.

Die elektrotechnische Photometrie.

1844. *Fizeau* u. *Foucault.* Untersuchungen über die Intensität des beim Davy'schen Versuch von den Kohlen ausgesandten Lichtes. Pogg. Ann. 63, 463; Ann. de Phys. et Chim. (3), 11, 370.

1844. *W. Th. Casselmann.* Ueber einige im Kreise der Kohlenzinkkette beobachtete Lichterscheinungen. Pogg. Ann. 63, 576.

1845. *A. Masson.* Etudes de Photométrie électriques. Ann. de Chim. et Phys. (3), 14, 129.

1876. *H. Tresca.* Expériences faites pour la détermination du travail dépensé par les machines magnéto-électriques etc. C. R. 82, 299.

— *P. Heilmann* u. *Th. Schneider.* Eclairage industrielle par la lumière électrique. Bull. de la Soc. industr. de Mulhouse, Mai 1876.

— *E. Hagenbach.* Untersuchung der Gramme'schen elektro-dynamischen Maschine. Pogg. Ann. 158, 599.

1877. Correspondence and reports on the subject of comparative trials of the electric lights at the South Foreland. London 1877. Dingler Journ. 227, 201.

1878. *L. Schwendler.* Précis of report in electric light. London. Zeitschr. f. angew. Elektrot. Lehre 1, 217.

— *W. de W. Abney.* On the Photometry of the magneto-electric Light. Proc. Roy. Soc. London. 27, 157.

1879. *Allard.* Bericht an den Municipalrath von Paris über die Beleuchtung mit Jablochkoff-Kerzen. Paris.

1880. *H. Morton, A. M. Mayer* u. *B. F. Thomas.* Some electrical measurements of one of Mr. Edisons Horse-shoe-Lamps. Chem. News 41, 199.

1881. *E. Hagenbach.* Untersuchung der Maschine von Bürgin und Siemens. Zeitschr. f. angew. Elektr. Lehre. 3, 127.

— *H. Morton.* Report of the topophone and the electric light. Washington.

— *A. Crova.* Comparaison photométrique des sources lumineuses des teintes differentes. C. R. 93, 512.

— *M. E. Allard.* Mémoire sur les Phares électriques. Paris.

1881. Rapport sur l'Eclairage électrique des quais de Rouen. Bull. de la Soc. industr. de Rouen (extrait).

— *Sautter, Lemonnier & Cie.* Appareils photo-électriques employés par les marines militaires. Paris.

1882. Congrès international des Electriciens. Paris 1881. Cpts. rend. des Travaux, 332 ff.

1882. *J. W. Howell.* Economy of Electric Lighting by Incandescence. Van Nostrands Magazine 1882, 51.

— *Allard, Le Blanc, Joubert, Potier, H. Tresca.* Résultats des expériences faites à l'Exposition d'électricité:
1) sur les machines et les régulateurs à courants alternatifs. C. R. 95, 806; C. B. f. Elektrot. 5, 157.
2) sur les machines et les régulateurs à courant continué. C. R. 95, 747; C. B. f. Elektrot. 5, 137.
3) sur les lampes à incandescences. C. R. 95, 946; C. B. f. Elektrot. 5, 145.

— *G. F. Barker, W. Crookes, A. Kundt, E. Hagenbach, E. Mascart.* Bericht über die Incandescenzlampen auf der Pariser Elektricitäts-Ausstellung. Zeitschr. f. angew. Elektr. Lehre 4, 379 u. 447.

— *H. Krüss.* Historische Uebersicht über die Versuche zur Bestimmung der Helligkeit des elektrischen Lichtes. Offic. Ber. ü. d. Intern. Elektr. Ausstellg. München 2, 76.

— — — Die Versuchsanordnung (der photometrischen Arbeiten der Prüfungs-Commission). Ebendaselbst 2, 69.

— *E. Voit.* Die Messungsresultate (der photometrischen Arbeiten der Prüfungs-Commission). Ebendaselbst 2, 104.

— *M. E. Rousseau.* Note sur la détermination de la formule photométrique des foyers électriques. L'Ing. Conseil 5, 257.

1883. *v. Hefner-Alteneck.* Ueber elektrische Lichtmessungen. Elektr. Zeitschr. 4, Journ. f. Gasbel. 1883, 830; C. B. f. Elektrot. 5, 65.

— *W. Thomson.* Angenäherte photometrische Lichtmessungen der Sonne, des Mondes, elektrischer und anderer Lichtquellen. Elektrot. Zeitschr. 4, 35.

— *E. Lecher.* Zur elektrotechnischen Photometrie. Internat. Elektrot. Zeitschr. Wien 14 u. 78; C. Z. f. Opt. u. Mech. 4, 232 u. 256.

— *H. Krüss.* Zur elektrotechnischen Photometrie. Intern. Elektrot. Zeitschr. Wien, 60; C. Z. f. Opt. u. Mech. 4, 243.

— *E. Voit.* Ueber Lichtmessungen. Bayr. Ind. u. Gew. Bl. 15, 39.

— *H. Krüss.* Die Verwerthung der Resultate photometrischer Messungen. Mitth. d. Math. Ges. Hbg. 4, 73; C. Z. f. Opt. u.

Mech. 5, 110; C. B. f. Elektrotechn. 6, 572; Zeitschr. f. Elektrot. 2, 404; D. Gastechniker 2, 53.

1883. *M. de Lepinay.* Sur une méthode pratique pour la comparaison photométrique des sources usuelles diversement colorées. C. R. 97, 1428.

— Ueber die Organisation des elektrotechnischen Laboratoriums in Paris. Journ. f. Gasbel. 1883, 619.

1884. *H. Krüss.* Ueber Lichtmessungen an elektrischen Lampen. Elektrot. Rundschau 1, 120.

— *W. Möller.* Photometrische Untersuchungen. Elektrot. Zeitschr. 5, 370; Wied. Ann. 24, 266.

— *A. Crova.* Photométrie des foyers intenses de lumière. C. R. 99, 1067.

— *L. Weber.* Die photometrische Vergleichung ungleichfarbiger Lichtquellen. Elektrot. Zeitschr. 5, 166.

— *O. Schumann.* Farbe und Helligkeit des elektrischen Glühlichtes. Elektrot. Zeitschr. 5, 220.

— Report on electric lamps. Intern. Electr. Exhibition. Philadelphia.

— *W. H. Preece.* On the law regulating the connection between current and intensity of incandescence of carbon filaments in glow lamps. Rep. of Brit. Ass. for the Advanc. of Sc. 1884, 654.

1885. *F. Lukas.* Radiations émises par les charbons incandescents. C. R. 100, 1454; Rep. d. Phys. 21, 633.

— *W. Peukert.* Calorimetrische Messungen an Glühlampen. C. B. f. Elektrot. 7, 364.

— — — Ueber die Umwandlung elektrischer Energie in Licht und Wärme durch Bogen- und Glühlampen. C. B. f. Elektrot. 7, 446; Zeitschr. f. Elektrot. 3, 620.

— *W. Siemens.* Ueber Verbesserungen in dem Nutzeffecte der Glühlampen. Elektrot. Zeitschr. 6, Oct. D. Elektrot. 4, 347; Journ. f. Gasbel. 1886, 193.

— *Bernstein.* Ueber die von einer Glühlampe erhältliche Lichtmenge. Zeitschr. f. Elektrot. 3, 706.

— Report to the Trinity House on the investigations into the relative merits of electricity, gas and oil as ligthouse illuminants. London. — S. auch J. A. Berly, Electricien 9, 801.

1885. *E. Voit.* Die elektrotechnische Versuchsanstalt München. Bayr. Ind. u. Gew. Bl. 17, 99.

— *A. Crova.* Comparaison photométrique des lumières de teintes différentes. Ann. de Chim. et Phys. (6), 6, 528.

— *H. Krüss.* Ueber die Anwendung farbiger Mittel in der elektrotechnischen Photometrie. C. B. f. Elektrot. 7, 384; C. Z. f. Opt. u. Mech. 6, 196; D. Gastechn. 5, 9; Zeitschr. f. Elektrot. 3, 631; Lum. électr. 17, 371.

— *F. Lucas.* Mémoire sur les machines magneto-électriques et l'arc voltaïque des phares. Ann. des Ponts et Chaussées Juli 1885.

1886. — — Considérations relatives à l'éclairage électriques des phares. C. R. 102.

Der Glanz der Lichtquellen.

1876. *M. E. Allard.* Mémoire sur l'intensité et la portée des phares. Paris.

1883. *E. Voit.* Ueber Lichtmessungen. Bayr. Ind. u. Gew. Bl. 15, 39.

1885. *Fr. Renk.* Die elektrische Beleuchtung des kgl. Hof-Theaters in München nebst Bemerkungen über den »Glanz« des elektrischen Lichtes. C. B. f. Elektrot. 7, 210.

Das Maass der Beleuchtung.

1881. *Fr. Uppenborn.* Ueber die Vertheilung elektrischer Lampen. Zeitschr. f. angew. Elektr. Lehre 3, 244.

1883. *H. Krüss.* Die Städtebeleuchtung der Zukunft. Zeitschr. f. d. Elektr. Ausstellg. Wien, 364; D. Gastechn. 3, 129.

1885. *M. Wybauw.* Mésure et répartition de l'éclairement. Bull. de la Soc. belge d'électr. 2, 78.

— *L. Weber.* Versuch zur Berechnung der von künstlichen Lichtquellen indicirten Helligkeit. Elektrot. Zeitschr. 6, 55.

— *H. Schmidt.* Ueber Intensivbeleuchtung, deren Wesen und Verwendung für öffentliche und private Beleuchtung. Journ. f. Gasbel. 1885, 827.

— *H. Krüss.* Ueber Maass und Vertheilung der Beleuchtung. C. A. Elektrot. 7, 670; D. Gastechn. 5, 169; D. Elektrot. 4, 481.

Der Lichtverlust durch Absorption.

1876. *M. E. Allard.* Mémoire sur l'intensité et la portée des Phares. Paris.

1881. — — Mémoire sur les phares électriques. Paris.

1885. *H. C. Cohn.* Ueber den Beleuchtungswerth der Lampenglocken. Wiesbaden.

— Report of the Trinity House on the investigations into the relative merits of electricity, gas and oil as lighthouse illuminants. London.

Spectro-Photometrie.

1814. *J. Fraunhofer.* Versuche über die Intensität des verschiedenfarbigen Lichtes. Denkschr. d. Münch. Akad. 1814, Gilberts Ann. 56, 297 (1817).

1869. *K. Vierordt.* Beschreibung einer photometrischen Methode zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes. Pogg. Ann. 137, 200.

1870. — — Die Messung der Lichtabsorption durchsichtiger Medien mittelst des Spectral-Apparates. Pogg. Ann. 140, 172.

1871. — — Die Anwendung des Spectral-Apparates zur Messung und Vergleichung des farbigen Lichtes. Tübingen.

1873. — — Die Anwendung des Spectral-Apparates zur Photometrie der Absorptions-Spectra und zur quantitativen Analyse. Tübingen.

1876. *Trannin.* Mésures photométriques dans le spectre. Journ. de Phys. 5, 297.

1877. *Glan.* Ueber ein neues Photometer. Wied. Ann. 1, 351.

— *H. C. Vogel.* Spectral-photometrische Untersuchungen. Berl. Monatsber. März.

— *G. Hüfner.* Ueber ein neues Spectral-Photometer. Journ. f. prakt. Chem. (2), 16, 290.

— *K. Vierordt.* Zur quantitativen Spectral-Analyse. Wied. Ann. 3, 357.

1878. *A. Crova.* Etudes spectro-photométriques des quelques sources lumineuses. C. R. 87, 322.

— — — Sur la mésure spectométriques de hautes températures. C. R. 87, 979 u. 90, 252.

1879. *O. E. Meyer.* Ueber die Farbe des elektrischen und des Gaslichtes. Zeitschr. f. angew. Elektr. Lehre 1, 320 u. 5, 458 (1883).

— *J. W. Draper.* New form of spectro-photometer and on the distribution of intensity of light in the spectrum. Phil. Mag. (5), 8, 75.

1880. *M. de Lepinay* u. *W. Nicati.* De la distribution de la lumière dans le spectre solaire. C. R. 91, 1078.

— *C. H. Wolff.* Universal-Spectral-Apparat. Corresp.-Bl. d. Ver. Analyt. Chem. 3, 56.

— *W. H. Pickering.* Photometrical researches. Proc. Ann. Ac. of Arts and Sc. 1880, 236; Nature 25, 340.

— *H. C. Vogel.* Spectrometrische Untersuchungen. Berl. Monatsbr. 1880, 801.

1881. *Dietrich.* Die Anwendung des Vierordt'schen Doppelspaltes in der Spectral-Analyse. Stuttgart.

— *K. Vierordt.* Die Photometrie der Fraunhofer'schen Linien. Wied. Ann. 13, 338.

— *A. Cornu.* Etudes photométriques. Journ. de Phys. 10, 189; Lum. électr. 3, 221.

— *M. de Lepinay* u. *W. Nicati.* Recherches sur la comparaison photométrique des diverses parties d'un même spectre. Ann. de Chim. et Phys. (5), 23, 289; J. de Phys. (2), 2, 64.

— *A. Crova* u. *Lagarde.* Détermination du pouvoir éclairant des radiations simples. C. R. 93, 959; Rep. de Phys. 19, 168.

1882. *H. Krüss.* Spectralspalt mit symmetrischer Bewegung der Schneiden. Rep. f. Phys. 13, 217; Zeitschr. f. analyt. Chem. 21, 182.

— — — Zur quantitativen Spectral-Analyse. Rep. d. analyt. Chem. 2, 16.

1883. *R. T. Glazebrook.* On a spectro-photometer. Proc. of the Camb. Phil. Soc. 4, 304.

— *H. Wild.* Ueber die Verwandlung meines Photometers in ein Spectro-Photometer. Reg. de Phys. 19, 512.

1884. *O. Schumann.* Farbe und Helligkeit des elektrischen Glühlichtes. Elektrot. Zeitschr. 5, 220.

Die

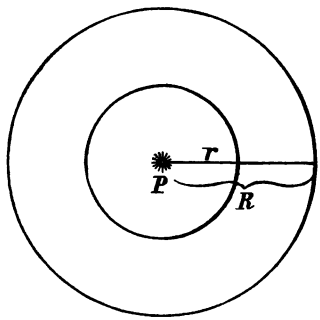
elektro-technische Photometrie.

I.

Die Grundlagen der Photometrie.

Ein Punkt P sende eine bestimmte endliche Lichtmenge aus, und zwar in gleichmässiger Vertheilung nach allen Richtungen. Wird der Punkt P concentrisch von einer Kugel mit dem Radius r umgeben, so wird die Innenfläche dieser Kugel in ihrer Ausdehnung gleichmässig beleuchtet werden, desgleichen die Innenfläche einer anderen concentrischen Kugel mit dem grösseren Radius R. Nimmt man an, dass bei der Fortpflanzung von dem dem Punkte P entströmenden Lichte nichts verloren gehe, so werden beide Kugeln r und R von den gleichen Lichtmengen getroffen. Die Flächeneinheit der grösseren Kugel wird in Folge dessen eine geringere Beleuchtung erhalten, wie die Flächeneinheit der kleineren Kugel.

Fig. 1.



Ist die Grösse der Gesammtlichtmenge, welche von P ausgestrahlt und von jeder der beiden Kugeln

empfangen wird $= Q$, so wird die Flächeneinheit der kleineren Kugel beleuchtet sein mit der Intensität $\frac{Q}{4r^2\pi}$, diejenige der grossen mit der Intensität $\frac{Q}{4R^2\pi}$. Die Helligkeiten der Flächeneinheiten verhalten sich also umgekehrt wie die Quadrate ihrer Entfernungen von dem leuchtenden Punkte. Ersetzt man die bisher betrachteten kleinen Theile von Kugeloberflächen durch Flächenelemente, auf welche die von einer Lichtquelle kommenden Strahlen senkrecht auffallen, so erhält man das ganz allgemeine Gesetz:

Die Intensitäten verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen von der Lichtquelle.

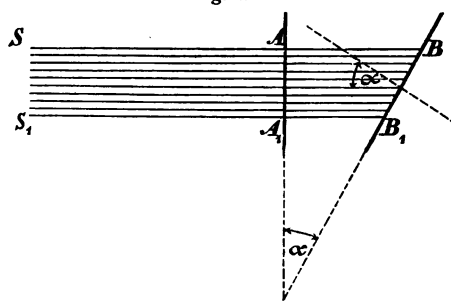
Dieses Gesetz wurde schon von Kepler im Jahre 1604 aufgestellt; es sagt also aus, dass die Intensität, mit welcher eine Fläche durch eine Lichtquelle beleuchtet wird, umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung beider von einander ist, d. h. wenn wir die Helligkeit, mit welcher eine Fläche durch eine Lichtquelle in der Entfernung 1 beleuchtet wird $= 1$ setzen, so ist ihre Helligkeit in der Entfernung $2 = {}^1/_4$, in der Entfernung $3 = {}^1/_9$ u. s. f., in der Entfernung $l = \frac{1}{l^2}$.

Bisher wurde vorausgesetzt, dass die Strahlen SS_1 die zu beleuchtende Fläche AA_1 normal treffen (Fig. 2). Die gegen die Richtung der Strahlen geneigte Fläche BB_1 wird offenbar dieselbe Lichtmenge erhalten wie AA_1, die Flächeneinheit von BB_1 wird also, da BB_1 grösser als AA_1 ist, weniger stark beleuchtet sein als die Flächen-

einheit von AA_1, und zwar in dem Verhältnisse $\frac{AA_1}{BB_1}$. Dieses Verhältniss ist aber gleich dem Cosinus des Neigungswinkels α beider Flächen gegeneinander, oder, was dasselbe ist, gleich dem Cosinus des Einfallswinkels der Strahlen SS_1 auf die Fläche BB_1. Es ergibt sich also als zweiter photometrischer Grundsatz:

Die Intensität der Beleuchtung einer Fläche ist proportional dem Cosinus des Einfallswinkels der beleuchtenden Strahlen.

Fig. 2.



Denkt man sich, dass in Fig. 2 die Flächen BB_1 und AA_1 selbstleuchtend werden und dass beide in die Richtung von rechts nach links genau die gleiche Lichtmenge aussenden, so leuchtet die Einheit der Fläche BB_1 im Verhältnisse des Cosinus des Winkels α weniger stark, als die Einheit der Fläche AA_1. Der Winkel α ist in diesem Falle derjenige, unter welchem das Licht aus der Fläche BB_1 ausströmt, folglich:

Die Intensität des von einer Fläche ausgesandten Lichtes ist proportional dem Cosinus des Ausströmungswinkels.

Zu obigen drei photometrischen Gesetzen kommt ferner hinzu:

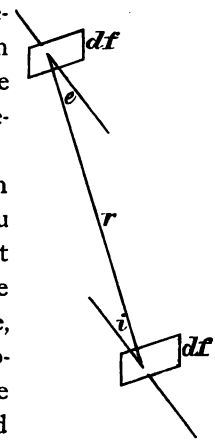
Die Menge des von einer Fläche empfangenen Lichtes ist proportional der Grösse der Fläche,

und:

Die Menge des von einer Fläche ausgesandten Lichtes ist proportional der Grösse der Fläche.

Beide Gesetze sind unter der Annahme, dass die Beleuchtung, beziehungsweise die Lichtaussendung, in der ganzen Ausdehnung einer Fläche gleichmässig sei, ohne weitere Beweise klar.

Fig. 3.



Zieht man die bisher erkannten einzelnen photometrischen Gesetze zu einem einzigen zusammen, so erhält man das von Lambert aufgestellte Grundgesetz der Photometrie, welchem alle in das Gebiet der theoretischen und praktischen Photometrie hineingehörenden Untersuchungen und Erscheinungen unterworfen sind.

In Fig. 3 sei df die Grösse eines Flächenelementes, dessen Helligkeit J sei, df' sei die Grösse eines zweiten Flächenelementes, welches um r von df entfernt ist. Die Strahlen, welche von df auf df' treffen, können als untereinander parallel betrachtet werden, sie mögen gegen die Normale auf df um den Winkel e, gegen die Normale auf df' um den Winkel i geneigt sein; dann

ist e der Ausströmungs- oder Emanationswinkel, i der Ausfalls- oder Incidenzwinkel des von dem Flächenelement df auf das Flächenelement df' fallenden Lichtes.

Die Menge q des von df auf df' übergehenden Lichtes ist nach den oben entwickelten Gesetzen

$$q = J \frac{df\, df'}{r^2} \cos e \cos i.$$

Dieser zusammengesetzte Grundsatz über die Quantität des Lichtes, welches von dem Elemente einer selbstleuchtenden Fläche auf das Element einer zweiten Fläche übergeht, bildet die Grundlage jeden photometrischen Calculs, natürlich unter der bisher stets gemachten Voraussetzung, dass auf dem Wege zwischen der leuchtenden und der beleuchteten Fläche kein Licht verloren geht, wie solches durch Absorption in einem nicht vollständig durchsichtigen Mittel der Fall ist. — Die dann in Betracht kommenden Verhältnisse werden in einem besonderen Abschnitte besprochen werden.

Nach der Undulationstheorie besteht das Licht in der Fortpflanzung oscillatorischer Bewegungen der kleinsten Theile eines hypothetischen Mittels, des Aethers.

Die qualitative Verschiedenheit dieser Bewegungen wird hervorgerufen durch die verschiedene Dauer der Oscillationen. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Aetherschwingungen dieselbe ist für Oscillationen von grosser oder von kleiner Dauer, so resultirt hieraus, dass die Wellenlängen der Schwingungen von verschiedener Dauer verschieden sein müssen. Ferner

zeigt die Dioptrik, dass Lichtschwingungen von verschiedenen Wellenlängen eine verschiedene Brechbarkeit besitzen. Dauer der Schwingung, Wellenlänge und Brechbarkeit sind demgemäss qualitative Charaktere des Lichtes.

Die Wellenlänge des Lichtes vermögen wir zu bestimmen durch die bekannten Methoden der Beugungs- oder Interferenz-Beobachtungen, bei welchen zwei Strahlen von verschiedener Länge hergestellt werden, deren Wellenzahlen eine bekannte Differenz gegen einander besitzen. Aus der Länge der von den beiden Lichtstrahlen durchlaufenen Wege und der Grösse der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes lassen sich dann die Wellenlänge und die Dauer der Schwingung höchst einfach berechnen.

Als Maass der Intensität des Lichtes nimmt man die lebendige Kraft der Aethertheilchen an, welche dem Quadrate der Geschwindigkeit derselben proportional ist. Es lässt sich zeigen, dass sie in Folge dessen auch proportional ist dem Quadrate der Amplitude der Schwingung.

Die quantitative Verschiedenheit der oscillatorischen Bewegung wird demgemäss hervorgerufen durch die verschiedene Grösse der Verschiebung, welche die einzelnen Theile des schwingenden Mittels erleiden. Die Amplitude der Schwingungen ist also ein quantitativer Charakter des Lichtes. Ihre Grösse kann aber nicht wie die Wellenlänge gemessen werden. Um ein Urtheil über die Quantität des Lichtes zu gewinnen, nimmt man an, dass sie proportional sei der Grösse der Wirkungen, welche das Licht ausübt.

Dieser Wirkungen des Lichtes unterscheidet man drei: die thermische, die chemische und die erleuchtende Wirkung.

Früher hat man die Lichtstrahlen selbst nach diesen verschiedenen Wirkungen unterschieden in Wärmestrahlen, in chemisch wirkende und in leuchtende Strahlen, und sie sogar ihrer Brechbarkeit nach getrennt, indem man annahm, die Wärmestrahlen seien die mindest brechbaren, die chemisch wirkenden die brechbarsten, und den leuchtenden komme eine mittlere Brechbarkeit zu. Es lässt sich aber nachweisen, dass im ganzen Bereiche des sichtbaren Spectrums sowohl eine erwärmende als eine chemische Wirkung der Lichtstrahlen vorhanden ist. Während allerdings bei den gewöhnlich in der Photographie angewendeten Substanzen das Maximum der chemischen Wirksamkeit am brechbarsten Ende des Spectrums liegt, ist bei Anwendung passender Substanzen das Maximum der chemischen Wirkung der Lichtstrahlen sogar im Roth zu finden. Draper, D. W. Pfeffer und Gerland haben gefunden, dass die Sauerstoffabscheidung aus den grünen Pflanzen am lebhaftesten im gelben und im grünen Lichte erfolge.

Ebenso liegt das Maximum der Wärmewirkung allerdings im Ultraroth, wenn man zur Erzeugung des Spectrums Prismen und Linsen aus Glas verwendet; mit einem Wasserprisma fand Seebeck aber das Maximum der Wärmewirkung in Gelb und Draper's Versuche an einem Beugungsspectrum ergaben die gleiche Wärmemenge in demjenigen Theile des Spectrums, welcher zwischen den Fraunhofer'schen Linien *A* und *D* liegt, wie in denjenigen zwischen den Linien *D* und *H*.

Mouton kam durch sorgfältige Messungen der Vertheilung der Wärme im normalen Spectrum des Sonnenlichtes unter Berücksichtigung der durch die Verschiedenheit der Dispersion erzeugten Anomalien zu dem Ergebnisse, dass das Maximum der Wärmeintensität beim Sonnenspectrum nicht im ultrarothen Theile, sondern zwischen *C* und *F*, also an der hellsten Stelle des Spectrums, liege.

Lockyer sagt: »Die Curven, durch welche man die Maxima der Wärme, der Helligkeit und der chemischen Wirksamkeit in den Lehrbüchern bezeichnet findet, bezeichnen nach meiner Ansicht nichts anderes als gewissermaassen die Absorptionsspectra derjenigen Substanzen, durch welche die Maxima bestimmt wurden — sei es Lampenruss, die Netzhaut des Auges oder ein Silbersalz — und die von der Natur des Lichtes ganz unabhängig sind.«

Es sind demgemäss die verschiedenen Wirkungen der Lichtstrahlen nicht bestimmte Eigenschaften der Aetherschwingungen, sondern diese verschiedenen Arten der Wirkungen hängen ab von den Eigenschaften derjenigen Körper, welche die Lichtstrahlen aufnehmen. Es giebt nur eine Art von Aetherschwingungen, ein und derselbe Lichtstrahl kann wärmend, chemisch und leuchtend wirken, und die Art seiner Wirkung hängt lediglich ab von den Eigenschaften derjenigen Körper, auf welche das Licht einwirkt.

Wir sind nun aber nicht berechtigt, aus der Stärke der einen dieser Wirkungen, welche wir etwa bestimmen, auf diejenige der anderen Wirkungen zu schliessen. Hat nämlich ein Lichtstrahl seine Fähigkeit, z. B. eine Wärme-

wirkung zu verursachen, bereits ausgeübt, indem man ihn etwa durch eine Schicht einer Alaunlösung treten liess, so ist klar, dass die erwärmende Kraft desselben bedeutend kleiner geworden ist, während die leuchtende und die chemisch wirkende fast unverändert geblieben sind. Alle Lichtstrahlen aber, mit welchen wir experimentiren, haben durch Absorption in den Medien, welche sie bereits durchlaufen haben, schon wärmend, chemisch oder leuchtend gewirkt, jedoch aller Wahrscheinlichkeit nach diese drei Wirkungen in verschiedenem Maasse ausgeübt.

Andererseits hängt aber nicht nur die Art der Wirkung, sondern auch ihre Stärke von den Eigenschaften derjenigen Körper ab, welche die Lichtstrahlen aufnehmen, so dass auch aus diesem Grunde aus der Stärke der ausgeübten chemischen Wirkung etwa nicht geschlossen werden kann auf die Stärke der Wärmewirkung, welcher dieselben Strahlen fähig gewesen sein würden.

Aus dem Vorhergehenden folgt, dass wir unter Photometrie, d. h. unter Messung der Quantität der Aetherschwingung, die Bestimmung der Stärke sowohl der wärmenden, wie der chemischen, als auch der leuchtenden Wirkung des Lichtes verstehen können.

Das hervorragendste Interesse liegt für uns in der Bestimmung der Stärke der leuchtenden Wirkung des Lichtes. Wir verstehen darunter einzig und allein diejenige Wirkung der Lichtstrahlen auf unser Auge, welche zur Ursache einer Gesichtsempfindung für uns wird.

Wir wissen wohl, dass einerseits der Blinde eben-

falls eine Wirkung der Lichtstrahlen in seinem Auge verspüren wird, nämlich die erwärmende, und dass andererseits nach einer Hypothese gerade diejenige Einwirkung der Strahlen auf das Auge, welche die Gesichtsempfindung hervorruft, chemischer Art sein soll. Aber doch nur dann, wenn der durch die Lichtstrahlen in der Substanz der Retina erzeugte Process, sei er nun chemischer, elektrischer oder anderer Natur, die Gesichtsempfindung wirklich zur Folge hat, können wir von einer leuchtenden Wirkung des Lichtes reden.

Um möglichen Missverständnissen vorzubeugen, wollen wir nicht unerwähnt lassen, dass die Aetherschwingung, welche zur Ursache der leuchtenden Wirkung werden kann, natürlich auch dann vorhanden ist, wenn zufällig kein Auge sie empfindet, also etwa im Innern eines Glühofens, oder in der menschenleeren Wüste; die Eigenschaft des Leuchtens hängt natürlich nicht davon ab, ob sie wirklich erfahren wird, sondern nur davon, dass es möglich ist, sie zu erfahren.

Die Quantität des Lichtes in Bezug auf seine leuchtende Wirkung bezeichnet man mit dem Worte Helligkeit. Hell bedeutet eigentlich nur viel Licht, wie dunkel wenig Licht bedeutet; in der Physik pflegt man aber stets nur die positiven Bezeichnungen der Quantität als Ausdruck für deren Maass zu benutzen; man spricht z. B. selbst bei Bestimmung der Temperatur der Nordpolgegenden von Minus so und so viel Grad Wärme. Wärme und Kälte, Helligkeit und Dunkelheit sind nur relative Begriffe für uns; dieselbe Temperatur unserer Zimmer erscheint uns im Winter warm, im Sommer kühl und die kolossale Helligkeit der elek-

trischen Beleuchtung ist dunkel im Vergleich zu intensivem Sonnenlicht. Sprechen wir also im Folgenden von Helligkeit, so wollen wir, wie üblich, darunter das Maass der leuchtenden Wirkung der Lichtstrahlen verstehen.

Aus dem bisher Gesagten folgt, dass es allerdings eine physikalische Definition der Intensität der Aetherschwingungen giebt, dass wir dieselbe aber nicht direct messen können wie die Wellenlänge, sondern nur die Stärke der Wirkungen der Aetherschwingungen. Die Art dieser Wirkungen hängt ab von der Substanz, auf welche gewirkt wird. Es findet eine erleuchtende Wirkung statt, wenn sie in unserem Sehorgane eine Gesichtsempfindung zur Folge hat. Hieraus folgt, dass nur das Auge im Stande ist, Helligkeiten zu messen; die Grösse der Helligkeit kann nur der Stärke der Lichtempfindung im Auge proportional gesetzt werden.

Allerdings wissen wir, dass die Grösse der Lichtempfindung im Auge nicht immer proportional der physikalischen Reizung ist. Wenn die Grösse der Lichtstrahlung auf physikalischem Wege (also etwa durch Entfernung oder Annäherung der Lichtquelle) unter oder über eine gewisse Grenze gebracht wird, so folgt die Stärke der Lichtempfindung nicht in demselben Maasse. Diese Thatsache ist aber auch nach unserer Meinung keineswegs geeignet, angeführt zu werden gegen die Annahme des Auges als oberste Instanz bei Helligkeitsbestimmungen. Denn was eben vom Auge nicht mehr als Helligkeit empfunden wird, kann als solche auch nicht mehr bezeichnet werden. Dieses zeigt sich uns am besten, wenn wir die Sache von der praktischen Seite aus betrachten.

Wird eine Lichtquelle so schwach oder wird sie so weit entfernt, dass das menschliche Auge keine Helligkeitsempfindung mehr durch sie empfängt, so herrscht in der That für uns absolute Dunkelheit, wenn auch theoretisch die noch vorhandene Helligkeit als kleine Grösse bestimmbar ist; und wenn andererseits die Lichtempfindung im Auge, hervorgerufen durch eine Lichtquelle in 1 Mtr. Entfernung, nicht 10.000mal so gross ist als diejenige, hervorgerufen durch dieselbe Lichtquelle, wenn sie sich in 100 Meter Entfernung befindet, so ist in der That die Helligkeit nicht 10.000mal so gross. Die Stärke der Ursache ist in diesem Falle allerdings 10.000mal so gross, die Helligkeit ist aber Wirkung dieser Ursache und braucht deshalb nicht direct proportional derselben zu sein.

Wenn also die Helligkeit einer Lichtquelle von der Lichtempfindung abhängig ist, welche sie im Auge hervorruft, so lässt sich in der That nicht leugnen, dass dadurch eine grosse Unsicherheit in die praktische Bestimmung von Helligkeiten, in die Methode der photometrischen Messungen gebracht wird. — Ist das Auge einmal nicht zu entbehren, so hängt die erreichbare Genauigkeit ab von der Empfindlichkeit der Retina des Beobachters und diese ist natürlich individuell verschieden, sie ist sogar bei demselben Individuum Schwankungen unterworfen je nach dem Zustande, in welchem sich der ganze Organismus befindet.

Es ist deshalb begreiflich, dass man immer und immer wieder versucht hat, zum Zwecke der Helligkeitsmessungen die physiologische Wirkung durch eine physikalische oder chemische zu er-

setzen, wenn es auch unverzeihlich ist, dass man dabei die richtige Definition des Wortes Helligkeit, resp. leuchtende Wirkung des Lichtes, stets gänzlich übersah. Dieser Versuche lassen sich eine grosse Anzahl aufführen. Das Zöllner'sche Scalenphotometer benutzt das Princip des Crookes'schen Radiometers, das Siemens'sche Selenphotometer die Veränderung des Leitungswiderstandes bei Bestrahlung; auf dem im Herbste 1881 in Paris stattgefundenen Congress der Elektriker tauchten bei der Frage der Helligkeitsbestimmung des elektrischen Lichtes eine ganze Reihe derartiger Projecte auf, welche zum Theil von den grössten Gelehrten herrührten, z. B. Becquerel's elektrochemisches Actinometer, bei welchem die Eindrücke des Lichtes auf die Retina ersetzt werden sollen durch die chemische Wirkung des Lichtes auf eine Schicht Chlorsilber. Aber gerade dort zeigte sich in dieser Beziehung die allergrösste Verwirrung, hervorgerufen durch die falsche Meinung, man müsse das Auge durch eine physikalische Wirkung ersetzen können.

Die Unmöglichkeit dieses Beginnens tritt schon in dem Augenblicke an uns heran, in welchem wir entscheiden sollen, ob ein solches physikalisches oder chemisches Photometer wirklich als Maass der Helligkeit benutzt werden kann, ob die auf dasselbe ausgeübte und von demselben angezeigte Wirkung in irgend einem constanten Verhältniss zur leuchtenden Wirkung der Lichtstrahlen stehe. Ueberlegt man sich die Sache richtig, so kann hierüber wiederum nur das Auge allein entscheiden, weil die Grösse der Lichtempfindung in demselben einzig und allein maassgebend für die Grösse der Helligkeit ist. Hier liegt am nächsten zu erwidern, man

mache diese Prüfung in der Weise, dass man untersuche, ob das Instrument bei Einwirkung derselben Lichtquelle stets dasselbe Resultat ergebe und ob es ferner z. B. bei Benützung von vier Kerzen statt einer einzigen eine dementsprechend grössere, hier also viermal so grosse Helligkeit erkennen lasse.

Das Bedenkliche des eben angedeuteten Versuches liegt nun darin, dass nur Aetherschwingungen von derselben Wellenlänge angewendet werden, nur Lichtquellen derselben Art, in welchen die Zusammensetzung der Strahlen nach den verschiedenen Theilen des Spectrums dieselbe ist. Man wird aber gewiss nach Vornahme eines solchen Versuches nicht behaupten können, dass ein solches Photometer auch richtige Resultate ergiebt, wenn mit demselben zwei in ihrer Zusammensetzung vollkommen verschiedenartige Lichtquellen in Bezug auf ihre Helligkeit mit einander verglichen werden sollen, wie z. B. ein Gasbrenner und der elektrische Flammenbogen. Denken wir uns als Beispiel für diesen Fall eines der vorgeschlagenen Photometer, welches auf der chemischen Wirkung des Lichtes auf ein Silbersalz beruht, so wird dieses eine zu grosse Helligkeit für das elektrische Licht ergeben wegen dessen Reichthum an Aetherschwingungen von kurzer Wellenlänge, für welche das Silbersalz empfindlicher ist, als für solche von längerer Wellenlänge.

Was von vorneherein zu erwarten stand, das erkennen wir wiederum aus dem Vorhergehenden; dass wir nur mittelst des menschlichen Auges allein im Stande sind, nach Maassgabe der Stärke seiner Lichtempfindung auf die Grösse der Helligkeit zu schliessen.

Die hiebei in Betracht kommenden Eigenschaften des menschlichen Auges müssen deshalb an dieser Stelle kurz erwähnt werden.

Die Helligkeitsempfindung kann entstehen ohne äussere Einwirkung des Lichtes durch Druck auf den Augapfel, durch Verwundung, elektrische Reizung, ja sogar ohne alle äussere Ursache haben Personen, denen der Augapfel fehlt, Lichtempfindungen. Da aber nur Beobachter mit gesundem Sehvermögen photometrische Messungen anstellen werden, so sind diese Verhältnisse hier nicht näher zu untersuchen, sondern nur diejenigen Fälle, in denen wir durch Eindringen von Licht in unser Auge zum Bewusstsein einer Helligkeitsempfindung kommen. Hornhaut, Linse und Augenflüssigkeit dienen zur Fortleitung des Lichtes und Hervorbringung eines Bildes auf der Netzhaut. Die Thätigkeit der Netzhaut und des mit derselben verbundenen Sehnerven vermitteln unserem Gehirn diejenigen äusseren Erscheinungen, welche unser Urtheil als Licht charakterisirt. Welcher Art die Vorgänge in den Organen des Lichtsinnes sind, ob chemischer, elektrischer oder vielleicht gar zusammengesetzter Art, das zu entscheiden, ist hier nicht der Ort.

Von wesentlichem Einfluss auf die Helligkeit des auf der Netzhaut entstehenden Bildes ist der Durchmesser des Lichtbüschels, welcher in das Auge hineintreten kann. Dieser Lichtbüschel wird begrenzt durch die Oeffnung der Pupille. Der Durchmesser der Pupille ist aber keine constante Grösse, er ändert sich mit der Menge des eindringenden Lichtes. Ausser-

dem ist die Weite der Pupille individuell sehr verschieden.

Die Verengung der Pupille bei starken Lichtreizen ist ein jedem Laien bekannter Vorgang, sie bietet bekanntlich der Netzhaut einen Schutz gegen zu starke Bestrahlung. Die einzigen bekannten Versuche über die Abhängigkeit zwischen der auf das Auge treffenden Helligkeit und dem Durchmesser der Pupille stammen von Lambert her. Derselbe betrachtete eine gegen den hellen Himmel gerichtete Oeffnung eines undurchsichtigen Fensterladens, bis die Pupille den der Intensität entsprechenden Durchmesser angenommen hatte und maass dann schnell vor einem Spiegel mittelst eines Zirkels diesen Durchmesser. Seine Resultate bei Versuchen in verschiedenen Entfernungen von der Lichtquelle waren die folgenden:

Entfernung des Auges von der Lichtquelle	Gesichtswinkel der Lichtquelle	Durchmesser der Pupille in Linien
1	8^0 36′	1·14(=2·4Mm.)
2	4 20	1·50
3	2 53	1·70
4	2 10	1·89
5	1 44	2·08
6	1 26	2·31
7	1 14	2·53
8	1 5	2·78
9	0 58	2·89
10	0 56	3·15(=6·8Mm.)

Die Fläche der Pupille, welche die Grundfläche des in's Auge gelangenden Lichtkegels und deshalb das

Maass für die Menge des Lichtes ist, erweiterte sich demgemäss bei Lambert's Versuchen von 4·5 Qu.-Mm. auf 36·3 Qu.-Mm., also auf etwa das 8fache.

Man sieht ohne Weiteres, dass man schon in Folge der äusseren Ursache, der Veränderlichkeit der Weite der Pupille, mittelst des Auges nicht im Stande sein kann, bei zwei verschieden starken Lichtquellen, welche man nach einander betrachtet, das Verhältniss der Helligkeiten beider zu einander richtig anzugeben, es kommen durchaus nicht den Helligkeiten entsprechende Lichtmengen auf der Netzhaut zur Wirkung. Andererseits könnte allerdings der Durchmesser der Pupille zu photometrischen Zwecken verwerthet werden, wie solches wirklich vorgeschlagen worden ist, wenn es möglich ist, ein Gesetz für die Abhängigkeit der Veränderungen dieses Durchmessers von den Veränderungen der Helligkeit zu finden, jedoch scheint die Erlangung einigermaassen exacter Resultate auf diesem Wege sehr zweifelhaft.

Ferner erleidet die Weite der Pupille eine Veränderung bei Veränderung der Convergenz der Augenaxen derart, dass die Pupille sich vergrössert, wenn diese Convergenz eine kleinere wird, d. h. wenn der betrachtete Gegenstand in grössere Entfernung rückt.

Das menschliche Auge ist also durchaus nicht im Stande, bei zweien von demselben empfundenen Eindrücken, welche von einander verschieden sind, genau anzugeben, in welchem mathematischen Verhältnisse die Stärken der Empfindungen zu einander stehen. Es kann nur urtheilen, dass die eine Empfindung stärker sei als die andere. Dieses könnte uns aber bei photometrischen

Messungen nichts nützen. Deshalb müssen alle photometrischen Methoden so eingerichtet sein, dass zwei Empfindungen hervorgerufen werden, welche das Auge als nicht verschieden in ihrer Stärke, sondern als gleich beurtheilt. Es handelt sich also stets um Herstellung gleicher Helligkeiten von in gleicher Entfernung von dem beobachtenden Auge aufgestellten Gegenständen auf physikalischem Wege, durch Schwächung der helleren Lichtquelle mittelst irgend eines Verfahrens, welches die stattgefundene Schwächung zu berechnen erlaubt.

Es ist klar, dass es bei dieser Sachlage von grossem Interesse ist, die Genauigkeit zu kennen, welche das Auge für derartige Messungen besitzt, also zu untersuchen, welche geringsten Unterschiede in der objectiven Helligkeit von dem Auge noch wahrgenommen werden.

Untersuchungen über die Grösse der Unterschiedsempfindlichkeit des Auges wurden von Lambert, Bouguer, Volkmann, Aubert, Masson, Helmholtz, Delboeuf nach verschiedenen Methoden angestellt. Während Bouguer dieselbe $= 1/64$, Volkmann $= 1/100$ fand, erkannte Aubert, dass sie sehr abhängig sei von der absoluten Helligkeit und im Allgemeinen bei Verringerung der absoluten Helligkeit abnehme. Masson dagegen stellte fest, dass die Unterschiedsempfindlichkeit bei einer bestimmten Helligkeit, etwa bei derjenigen des diffusen Tageslichtes, ein Maximum erreicht; bei dieser Helligkeit konnte er Unterschiede von $1/186$ erkennen. Helmholtz fand als Maximum $1/167$ an hellen Sommertagen, bei directer Sonnenbeleuchtung nur $1/150$. Fechner hat durch das von ihm aufgestellte psychophysische Gesetz

die Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeiten von der absoluten Helligkeit zu erklären versucht.

Aus diesen Verhältnissen lässt sich für die praktische Photometrie die Regel ableiten, dass die Genauigkeit von photometrischen Vergleichungen nicht dieselbe ist bei verschieden grosser absoluter Helligkeit; die grösste Genauigkeit wird man erzielen, wenn man die Versuche so anordnet, dass die Flächen, deren Helligkeit von dem Auge miteinander verglichen werden sollen, mit einer dem diffusen Tageslicht ungefähr gleichkommenden Helligkeit beleuchtet werden.

Ebenso wie bei Bestimmung der Gesammtintensität einer Lichtquelle nur durch Benutzung des Auges zur Messung ein richtiges Urtheil über die wirkliche Helligkeit gewonnen wird, ebenso steht es auch bei der Bestimmung der Intensitätscurve des Spectrums.

Welcher Art auch die Methode einer solchen Bestimmung ist, ob man wie Fraunhofer die Helligkeit der einzelnen Theile des Spectrums vergleicht mit derjenigen einer Normallichtquelle, oder wie Vierordt die Empfindlichkeit des Auges in Bezug auf die Beimischung von reinem Weiss zu einer Spectralfarbe dazu benutzt, immer findet man durch solche Methoden keine mechanische Spectralintensitätscurve, sondern nur eine physiologische Curve.

Gar zu leicht wird auch in diesem Falle vergessen, dass Lichtstärke und Helligkeit Begriffe sind, zu deren Definition unbedingt die subjective Empfindung unseres Sehorgans herbeigezogen werden muss. Es gibt keine objective Lichtstärke, d. h. keine Lichtstärke ausser

uns, unter Nichtberücksichtigung unseres Auges. Es ist Helligkeit etwas Anderes als mechanische Energie der Aetherschwingungen, deshalb kann man nie eine Helligkeitscurve des Spectrums finden, welche objectiven Werth im physikalischen Sinne hat.

Das Verhältniss der Helligkeiten der verschiedenen Theile des Spectrums zu einander kann also, wenn überhaupt, nur vermittelst des Auges bestimmt werden; nur auf diese Weise erlangt man eine Helligkeitscurve des Spectrums; sie muss demgemäss eine physiologische Curve sein, sie ist subjectiv, individuell, sie ist nicht nur bei verschiedenen Personen verschieden, sondern auch bei einem und demselben Individuum zeitlich variablen Einflüssen unterworfen.

Wird eine solche Untersuchung aber mit Hilfe von Augen gemacht, welche in Bezug auf die Farbenempfindung als normal angesehen werden können, so wird die erlangte Helligkeitscurve des Spectrums auch eine allgemeinere Bedeutung beanspruchen dürfen.

Es gilt aber auch hier vor Allem, an der Nothwendigkeit der Benutzung des Auges zu solchen Bestimmungen festzuhalten und die Sachlage nicht dadurch zu trüben, dass wir fortwährend die Grundbegriffe verwechseln, und so die Hoffnung nähren, auf anderem als physiologischem Wege in der vorliegenden Frage zur Erkenntniss zu gelangen. Andernfalls werden wir, anstatt vorwärts zu schreiten, nur die Entwickelung der Wissenschaft aufhalten.

Einen der schwierigsten Punkte der Photometrie haben wir bereits oben berührt, das ist die Vergleichung der Helligkeit zweier Lichtquellen von verschiedener Farbe.

Wir wissen, dass die Stärke der Lichtempfindung eine verschiedene ist für Licht von verschiedener Farbe, von verschiedener Wellenlänge. Gelb und Roth machen den stärksten Eindruck auf das menschliche Auge, weshalb auch die frühesten Ausdrücke für Farben in den Sprachen der Völker diejenigen für Gelb und Roth sind. »Gelb führt in seiner höchsten Reinheit immer die Natur des Hellen mit sich.« »So wie Gelb immer ein Licht mit sich führt, so könne man sagen, dass Blau immer etwas Dunkles mit sich führe.« (Goethe, Farbenlehre.)

»The yellow and orange coulours affect the senses more strongly than all the rest together, and next to these are the red and green. The blue compared with these is a faint and dark colour, and the indigo and violet are much darker and fainter.« (Newton, optics.)

Da wir nun aber bei der Definition des Wortes Lichtstärke diese nicht proportional der lebendigen Kraft der Aetherschwingungen, sondern nur abhängig von der Grösse der Empfindung in unserem Auge gesetzt haben, so würde diese physiologische (oder physische) Eigenthümlichkeit uns weiter keine Schwierigkeiten bieten können; wir sind vollkommen berechtigt, da das Roth einen stärkeren Eindruck auf unser Auge macht als das Blau, das Roth heller als das Blau zu bezeichnen.

Ganz so einfach liegt die Sache aber nicht. Die Helligkeit, d. h. die Empfindungsstärke des Lichtes in unserem Auge, ist eine Function der lebendigen Kraft der Aetherschwingungen; die Natur dieser Function ist uns unbekannt. Aber so viel ist uns bekannt, dass für Licht von verschiedener Wellenlänge die Art dieser Function eine verschiedene ist. Experimentell lässt sich

dieses dadurch zeigen, dass zwei verschiedenfarbige Lichtquellen, welche wir für gleich hell halten, uns nicht mehr gleich hell erscheinen, wenn man die Intensität beider durch gleichmässiges Nähern oder Entfernen in demselben Verhältniss vermehrt oder vermindert. (Purkinje'sches Phänomen.)

Dieses lässt sich leicht durch einen von L. Weber angegebenen Versuch auch einem grösseren Zuschauerkreise zeigen. Eine rothe und eine blaue Papierfläche werden neben einander an die Wandtafel geheftet und durch eine symmetrisch aufgestellte Lampe beleuchtet. Ist die Farbennuance so gewählt, dass man bei gewisser Helligkeit der Lampe den Eindruck gleicher Helligkeit von Roth und Blau erhält, und schraubt man jetzt die Lampe niedriger, so gewinnt das Blau bedeutend an Helligkeit.

Es muss bei diesem Versuch beachtet werden, dass es sich nicht darum handelt, ob die Papiere noch als farbig erkannt werden, es soll nur ihre Helligkeit abgesehen von der Farbe beobachtet werden. Es stellt sich nämlich dabei heraus, dass Pigmente bei sehr verminderter Beleuchtung farblos erscheinen, aber sich wohl noch durch ihre Helligkeit von einander unterscheiden.

Diese Eigenthümlichkeit des Auges, dass ihm bei geringer Beleuchtung blaue Flächen heller erscheinen als rothe, während sie bei voller Beleuchtung gleich hell beurtheilt werden, findet vielfach Beachtung in der Praxis; so werden z. B. die Strassenschilder, um dieselben auch Nachts möglichst erkennbar zu machen, meistens in blauer Farbe hergestellt.

Aus dem Vorstehenden folgt unmittelbar, dass ein

einheitliches physiologisches Maass für Licht von verschiedener Wellenlänge nicht vorhanden ist, dass die Einheiten, nach welchen die Helligkeiten verschiedener Farben durch unser Auge gemessen werden, verschiedene sind. Es sind zwei verschiedenartige Lichtquellen in Bezug auf ihre Helligkeit für das Auge vollkommen incommensurabel.

Einen interessanten Beleg hiefür liefern die Messungen, welche Fraunhofer vornahm, um die Intensitätscurve des Sonnenspectrums festzustellen. Er verglich die Helligkeit der einzelnen Theile des Spectrums mit der Helligkeit einer kleinen Oellampe. Dietrich hat die mittleren Fehler einer Beobachtung Fraunhofer's in Prozenten der Lichtstärke des betreffenden Ortes des Spectrums berechnet und dafür gefunden:

Fraunhofer'sche Linien:	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*
	62	45	9	20	43	58	61%

Das Urtheil ist also bei *D* am sichersten, da das homogene Gelb am meisten dem nicht homogenen Lichte der Lampe glich, bei Vergleichung des Normallichtes mit den anderen Farben aber ausserordentlich unsicher.

Es erklärt sich uns nun auch der Umstand, welcher von Allen, welche photometrische Messungen gemacht haben, hervorgehoben wird, dass die Vergleichung der Helligkeiten zweier verschieden gefärbter Lichtquellen Schwierigkeiten bietet; dieses macht sich bereits geltend bei Vergleichung der Helligkeit des Gaslichtes mit derjenigen einer Normalkerze.

In noch erheblicherem Maasse tritt diese Schwierigkeit auf bei Bestimmung der Helligkeit des elektrischen Lichtes nach derjenigen einer Normalkerze oder eines

Normalöl- (Carcel-) Brenners, denn die spectrale Zusammensetzung der beiden hier zur Vergleichung kommenden Lichtquellen ist eine sehr verschiedene.

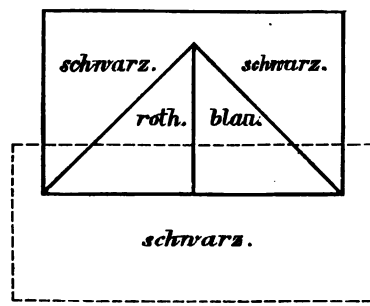
Nähere Einzelheiten über das Verhältniss, in welchem die verschiedenen Farben in der elektrischen Lampe und in anderen Lichtquellen enthalten sind, werden in einem späteren Abschnitte gegeben werden, es ist aber von vorneherein schon durch oberflächliche Vergleichung des elektrischen Lampenlichtes mit demjenigen anderer künstlichen Lichtquellen klar, dass ersteres im Vergleich zu letzterem bläulich erscheint, dass die Farbe des elektrischen Bogenlichtes und diejenige der Lichtquellen, mit welchen dessen Helligkeit verglichen werden soll, eine sehr verschiedene ist.

Hierdurch entsteht der praktischen elektro-technischen Photometrie eine grosse Schwierigkeit; wie derselben zu begegnen ist, wird später gezeigt werden.

Eine weitere Schwierigkeit erwächst aus dem Einfluss der Grösse einer farbigen Fläche auf die Stärke der von derselben hervorgebrachten Helligkeitsempfindung. Je kleiner nämlich die Flächen sind, um so mehr erscheint dem normalen Auge die Helligkeit der von weniger brechbarem Lichte erleuchteten Fläche zu überwiegen. Diese Thatsache lässt sich leicht durch folgenden, ebenfalls von Weber angegebenen Versuch zeigen. Ein Pappecarton von circa 40 Cm. Breite und 25 Cm. Höhe wird in der durch die Fig. 4 erläuterten Weise mit farbigem Papier überzogen, an der Wandtafel befestigt und durch Regulirung der Gaslampen derart beleuchtet, dass die in einigen Metern Distanz sitzenden Zuschauer den ungefähren Eindruck gleicher Helligkeit

gewinnen. Fährt man alsdann mit einem zweiten in der Hand gehaltenen schwarzen (punktirt gezeichneten) Carton von unten her über den an der Tafel befestigten, so dass beständig zwei gleich grosse Dreiecke in Roth und Blau frei bleiben, so gewinnen die Beobachter den Eindruck, als wüchse die Helligkeit des rothen Dreiecks. Hieraus geht hervor, dass die Grösse der beobachteten Flächen resp. der Gesichtswinkel derselben angegeben werden muss, wenn ein Vergleichswerth ihrer Helligkeiten vermittelt werden soll.

Fig. 4.



Macé de Lépinay und Nicati haben festgestellt, dass das Helligkeits-Verhältniss verschiedenfarbiger Flächen constant wird, wenn die Flächen unter einem Gesichtswinkel erscheinen, welcher kleiner als 45 Minuten ist.

Das für die Praxis aus den genannten beiden Fehlerquellen entspringende Resultat lässt sich etwa an folgendem vorzüglichen, von Weber stammenden, Beispiele darstellen. Es seien zwei weisse Flächenstücke F_1 und F_2, etwa zwei Cartons von je 1 Qu.-Dm. Grösse neben einander gestellt und es möge ein Beobachter dieselben aus unveränderlicher Entfernung beobachten. Es sei Vorsorge getroffen, dass F_1 nur von einer Normalkerze, F_2 nur von einer Bogenlampe beleuchtet werde. Angenommen, die Bogenlampe sei 100mal so hell wie die Normalkerze, so würde der Beobachter etwa Gleich-

heit der Flächenhelligkeit feststellen, wenn die Normalkerze 1 Mtr. und die Bogenlampe 10 Mtr. entfernt von F_1 und F_2 aufgestellt wäre. Würde man nun 1. die beiden Flächen auf 1 Qu.-Cm. verkleinern, so würde die Gleichheit der Flächenhelligkeit nicht mehr bestehen. F_1 würde jetzt heller erscheinen, da es im Vergleich mit F_2 von weniger brechbarem Lichte erhellt wird. Würde man 2. die Normalkerze auf 2 Mtr., die Bogenlampe auf 20 Mtr. bringen, also die Wirkung beider Lichtquellen in demselben Verhältnisse schwächen, so würde die Gleichheit der Flächenhelligkeit ebenfalls gestört sein und zwar würde jetzt F_2 an Helligkeit gewinnen, infolge des Purkinje'schen Phänomens. Die Angabe, dass die Bogenlampe = 100 Normalkerzen sei, passt also nur für eine gewisse Distanz der beleuchteten Flächen und für eine gewisse Grösse derselben.

Was nun endlich die Genauigkeit photometrischer Messungen von farbigen Lichtquellen anbetrifft, so haben Helmholtz, Lamansky und Dobrowolsky Untersuchungen über die Unterschiedsempfindlichkeit bei verschiedenen Farben angestellt. Die Resultate dieser Versuche sind aber von einander so abweichend, dass es kaum gerathen erscheint, über die Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der Wellenlänge des einwirkenden Lichtes mehr zu behaupten, als dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit für die verschiedenen Spectralfarben eine sehr verschiedene ist, und dass diese Verschiedenheit bedeutenden individuellen Schwankungen unterliege.

II.

Die Photometer.

Bei der Construction von Instrumenten, mit welchen die Stärke des Lichtes gemessen werden soll, bei der Construction der Photometer also, müssen vor Allem die in dem vorstehenden Abschnitte dargelegten Grundlagen der Photometrie berücksichtigt werden. Alle Helligkeitsmessungen werden mit Hilfe des Auges vorgenommen; da dasselbe nur urtheilen kann, dass eine Empfindung stärker sei als die andere, oder dass beide einander gleich seien, nicht aber, in welchem Verhältnisse die Stärken zweier Empfindungen zu einander stehen, so müssen alle photometrischen Methoden so eingerichtet werden, dass auf irgend einem Wege die Beleuchtungsstärken, welche die beiden mit einander zu vergleichenden Lichtquellen hervorbringen, gleich gemacht werden.

Die Photometer zerfallen in verschiedene Classen, je nach den Mitteln, welche zur Veränderung der Beleuchtungsstärken benutzt werden. Als einfachstes dieser Mittel bietet sich die Benutzung des photometrischen Grundgesetzes dar, dass die Helligkeit mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt, und in der That beruhen die meisten praktisch im Gebrauche befindlichen Photometer auf diesem Grundgesetze. Sodann ermöglichen eine Reihe physikalischer Eigenschaften der durchsichtigen oder halbdurchsichtigen Mittel eine rechnungsmässig zu bestimmende Schwächung des Lichtes; in Folge dessen können auch sie in der photometrischen Praxis angewendet werden.

Photometer beruhend auf alleiniger Benutzung des photometrischen Grundgesetzes.

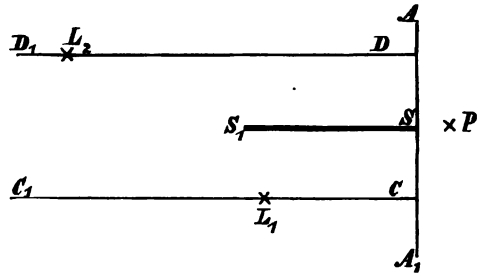
Wenn zwei Lichtquellen auf ihre Helligkeit mit einander verglichen werden sollen, so stellt man die eine derselben, gewöhnlich die schwächere, in einer bestimmten Entfernung von einer Fläche auf und entfernt die andere so weit, bis die von beiden Lichtquellen hervorgerufenen Beleuchtungen der Fläche einander gleich sind. Musste die zweite Lichtquelle dabei n-mal so weit von der Fläche entfernt werden als die erste, so ist ihre Helligkeit n^2-mal so gross. Bedingung hiebei ist ferner, dass dem zweiten photometrischen Gesetze entsprochen wird, d. h. dass die Lichtstrahlen der beiden Lichtquellen die Flächen unter demselben Winkel treffen oder dass eine Correction dem Cosinusgesetze entsprechend eintrete, wenn dieses nicht der Fall ist. Häufig ist die Einrichtung so getroffen, dass die Strahlen beider Lichtquellen die Fläche normal treffen.

Das älteste Photometer, welches auf Benutzung des Gesetzes der Lichtabnahme mit dem Quadrate der Entfernung beruht, ist das von Bouguer im Jahre 1760 construirte.

Bei demselben wird die Ebene AA_1 durch die undurchsichtige Scheidewand SS_1 in zwei Theile getheilt. Von den beiden Lichtquellen L_1 und L_2, deren Helligkeiten mit einander verglichen werden sollen, beleuchtet die eine L_1 die eine Hälfte SA der Ebene AA_1, die andere L_2 die zweite Hälfte SA_1 desselben. Zur Herstellung gleicher Helligkeit der beleuchteten Fläche SA und SA_1 können die Lichtquellen in den Richtungen

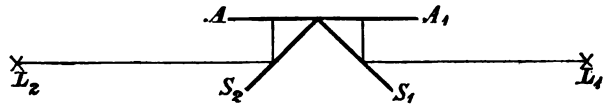
CC_1 resp. DD_1 verschoben werden. Meistens ist L_1 in einer constanten Entfernung von AA_1 befestigt und L_2 wird an einem Maassstabe verschoben, auf welchem man die Entfernung derselben von AA_1 oder gleich die dieser Entfernung entsprechende relative Helligkeit (im Vergleiche zu L_1) ablesen kann. Die undurchsichtige Ebene

Fig. 5.



AA_1 wird nach Potter gewöhnlich ersetzt durch eine mattgeschliffene Glasscheibe oder ein transparentes Papier, so dass das beobachtende Auge von P aus die Helligkeit der beiden Flächen AS und SA_1 mit einander vergleichen kann. Durch Verschieben von L_2 wird dann gleiche Helligkeit derselben hergestellt.

Fig. 6.



Das Ritchie'sche Photometer ist nur eine Modification des Bouguer'schen. Bei demselben stehen die beiden Lichtquellen L_1 und L_2 nicht neben einander, sondern in einer geraden Linie. Durch die beiden Spiegel S_1 und S_2 wird ihr Licht nach oben auf die matte

Scheibe AA_1 geworfen, wo dann die Vergleichung stattfindet.

Das in Frankreich unter dem Namen des Foucault'schen Photometers vielfach im Gebrauche befindliche Instrument ist im Wesentlichen nichts anderes als das Bouguer'sche Photometer; es unterscheidet sich von demselben nur dadurch, dass die undurchsichtige Zwischenwand SS_1 (Fig. 5) etwas von dem Schirm AA_1 entfernt werden kann; in Folge dessen ist es möglich, die dunkle Zone, welche sonst durch den Schirm SS_1 auf AA_1 entsteht, ganz verschwinden und die von den beiden Lichtquellen beleuchteten Flächen in einer scharfen Linie aneinandergrenzen zu lassen.

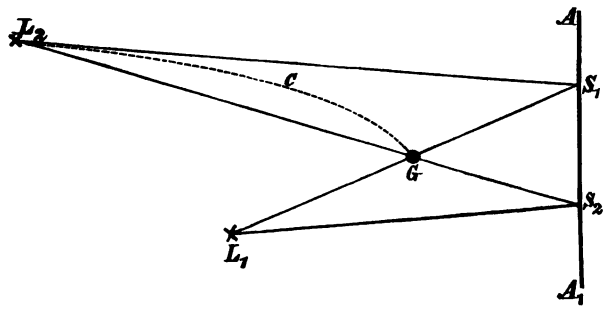
Ein wichtiger Bestandtheil des Foucault'schen Photometers ist der halbdurchsichtige Schirm AA_1, welcher von den Lichtquellen beleuchtet wird. Derselbe soll genügend durchsichtig sein, jedoch nicht so stark, dass man die Lichtquellen selbst dadurch sieht; auch muss er gleichmässig beleuchtet erscheinen. Aus letzterem Grunde ist mattgeschliffenes Glas nicht anzuwenden, weil seine Oberfläche noch zu rauh ist, Milchglas dagegen besitzt eine auswählende Absorption; dasselbe erhält seine Beschaffenheit durch die sehr fein suspendirten Körper; dieselben reflectiren das blaue Licht und lassen das rothe hindurch. Am günstigsten für den Schirm des Foucault'schen Photometers ist eine zwischen zwei Glasplatten eingeschlossene möglichst gleichförmige Amidamschicht.

Häufige Anwendung, allerdings nur zu rohen Messungen, findet das Rumford'sche Photometer. Es trägt seinen Namen mit Unrecht, da schon Lambert im Jahre

1760, also gleichzeitig mit Bouguer, diese Construction angegeben hat, während Rumford allerdings zuerst umfassenden Gebrauch von derselben gemacht hat.

Bei dem Rumford'schen Photometer werden auf einer weissen Fläche AA_1 von einem undurchsichtigen Gegenstande G durch die beiden Lichtquellen L_1 und L_2 zwei Schatten S_1 und S_2 entworfen und bei constanter Entfernung der einen Lichtquelle L_1 von der Fläche AA_1 die zweite Lichtquelle L_2 so lange ver-

Fig. 7.



schoben, bis die beiden Schatten S_1 und S_2 gleich hell sind. In den meisten Lehrbüchern der Optik steht die Ausdrucksweise, man solle die beiden Schatten gleich dunkel machen. Richtiger ist es, zu sagen, sie sollen gleich hell sein, denn die beiden Schatten S_1 und S_2 sind nichts anderes wie die zwei Hälften der matten Scheibe im Bouguer'schen und Ritchie'schen Photometer, d. h. Stellen, welche von zwei verschiedenen Lichtquellen beleuchtet werden. Denn in der That erhält der Schatten S_1 kein Licht von L_1, sondern nur von L_2, S_2 dagegen kein Licht von L_2, sondern nur von L_1.

Da bei dem Rumford'schen Photometer die Lichtquelle L_2 entweder auf einem geraden Maassstabe verschoben wird, welcher die Entfernung von AA_1 oder die Lichtstärke im Vergleiche zu L_1 ablesen lässt, oder auch in ganz beliebiger Weise, so wird das zweite photometrische Gesetz vernachlässigt, dass die Strahlen beider Lichtquellen die Ebene AA_1 unter demselben Winkel treffen. Es lässt sich nämlich leicht zeigen, dass, wenn L_1 eine feste Stellung einnimmt, L_2, um dieser Bedingung zu genügen, auf einer Curve L_2CG verschoben werden muss. Bei der geringen Genauigkeit, welcher das Rumford'sche Photometer überhaupt nur fähig ist, ist ein näheres Eingehen hierauf nicht am Platze.

Am meisten im Gebrauche ist das Bunsen'sche Photometer, deshalb soll dasselbe auch am eingehendsten besprochen werden.

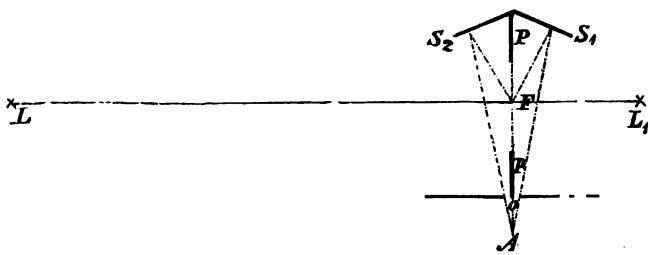
Dieses Photometer beruht darauf, dass ein auf einem Papier befindlicher Fettfleck bei durchfallendem Lichte hell auf dunklem Grunde erscheint, bei auffallender Beleuchtung dunkel auf hellem Grunde, woraus man schliesst, dass bei gleich starker Beleuchtung von beiden Seiten der Fettfleck weder hell auf dunklem Grunde, noch dunkel auf hellem Grunde erscheint, also gänzlich verschwindet.

Die Anordnung dieses Photometers ist demnach in der Art getroffen, dass zwischen die beiden Lichtquellen L_1 und L_2 der Papierschirm P mit dem Fettfleck F gestellt wird, so dass die Strahlen von beiden Seiten senkrecht auf den Papierschirm treffen. Die gegenseitigen Entfernungen dieser drei Theile werden so regulirt, dass der Fettfleck verschwindet.

Dann verhalten sich die Helligkeiten der beiden Lichtquellen zu einander wie die Quadrate ihrer Entfernungen von dem Papierschirm P, also wie $(L_1 F)^2 : (L_2 F)^2$.

Um nun die beiden Seiten des Papierschirmes gleichzeitig übersehen zu können, wird derselbe nach Angabe von Rüdorff zwischen zwei Spiegel S und S_1 gestellt, welche einen Winkel von etwa 140 Grad mit einander bilden, und zwar so, dass er in der Mittellinie dieses Winkels steht. Das beobachtende Auge A blickt dann durch eine Oeffnung O einer undurchsichtigen Wand auf die Spiegel S_1 und S_2.

Fig. 8.



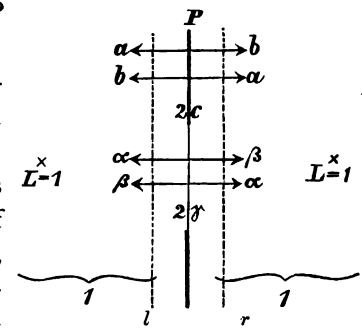
Die Herstellung des Fettfleckes erfordert besondere Sorgfalt. Die Anwendung irgend eines flüssigen Fettes ist deshalb unzweckmässig, weil hiebei der Fettfleck verwaschene Ränder erhalten würde und es Bedingung zur leichten Unterscheidung der Beleuchtung des Fettfleckes und des nichtgefetteten Papieres ist, dass der Fettfleck eine scharf begrenzte Figur habe und in seiner ganzen Fläche gleichmässig durchscheinend sei. Um dieses zu erreichen, bedeckt man die Oberfläche eines Petschaftes oder dergleichen mit Stearin, erhitzt dasselbe und drückt es leicht auf das Papier. Von dem so ent-

standenen Fettflecke wird alles überflüssige Stearin gleichmässig abgeschabt und nun das Ganze noch einmal erwärmt.

In vielen Lehrbüchern ist die schon oben angedeutete Anweisung gegeben, die Entfernungen der Lichtquellen von dem Papierschirme so zu reguliren, dass der Fettfleck auf beiden Seiten verschwinde. Es kann jedoch leicht gezeigt werden, dass der Fettfleck nie gleichzeitig auf beiden Seiten verschwinden kann.

Es seien auf jeder Seite des Papierschirmes P in gleichem Abstande 1 von demselben zwei Lichtquellen L von der gleichen Intensität 1 aufgestellt.

Fig. 9.



Das Licht, welches von jeder Lichtquelle auf den Papierschirm fällt, wird in drei Theile zerlegt: ein Theil wird reflectirt, ein anderer hindurchgelassen und der Rest absorbirt. Heissen diese Lichtmengen für das nichtgefettete Papier a, b und c, für den Fettfleck α, β und γ, so wird das nichtgefettete Papier auf beiden Seiten leuchten mit der Intensität $a + b$, der Fettfleck mit der Helligkeit $\alpha + \beta$, während $2c$ durch das nichtgefettete Papier, 2γ durch den Fettfleck absorbirt werden. Soll nun der Fettfleck verschwinden auf beiden Seiten, so muss er gleiche Helligkeit mit dem nichtgefetteten Theile des Papieres haben oder es muss $a + b = \alpha + \beta$ sein. Da nun aber $a + b + c = \alpha + \beta + \gamma = 1$ ist, so

kann $a + b$ nur dann gleich $\alpha + \beta$ sein, wenn $c = \gamma$ ist, oder wenn das nichtgefettete Papier und der Fettfleck gleiche Mengen Licht absorbiren. Da dieses aber nicht der Fall ist, so kann der Fettfleck nie gleichzeitig auf beiden Seiten verschwinden.

Eine nähere Untersuchung zeigt, dass bei gleicher Beleuchtung des Papierschirmes von beiden Seiten der Fettfleck beiderseits dunkler als das nichtgefettete Papier erscheint.

Bei dem Arbeiten mit dem Bunsen'schen Photometer hat man den Papierschirm stets so einzustellen, dass er auf beiden Seiten gleich hell erscheint. In dieser Stellung ist der Fettfleck auf beiden Seiten noch eben wahrnehmbar und die gleiche Undeutlichkeit der Grenzen des Fettfleckes gegen das umgebende Papier bildet ein sehr scharfes Kriterium für die richtige Einstellung.

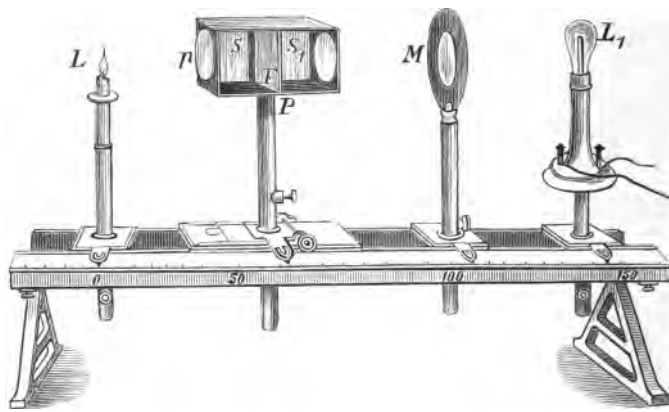
Es giebt nun aber zwei Stellungen, r und l, des Papierschirmes, in deren einer der Fettfleck rechts und in deren anderer er links verschwindet, und es lässt sich zeigen, dass das geometrische Mittel der diesen Stellungen entsprechenden beiden Intensitäten gleich ist der aus der mittleren Stellung P berechneten Intensität, so dass man auch diese beiden Stellungen zusammen zur Bestimmung des Helligkeitsverhältnisses der beiden Lichtquellen benutzen kann.

In der Praxis wird häufig nur die eine dieser beiden Stellungen benutzt; indem man auf die eine Seite des Papierschirmes P mit dem Fettfleck F in constanter Entfernung eine beliebige Lichtquelle L aufstellt und nun nacheinander die beiden zu vergleichenden Lichtquellen L_1 und L_2 auf der entgegengesetzten Seite des

Papierschirmes jedesmal in solche Entfernung von demselben bringt, dass der Fettfleck F, von dieser Seite her betrachtet, vollkommen verschwindet. Die Quadrate der Entfernungen $L_1 F$ und $L_2 F$ geben dann wieder das Verhältniss der Helligkeit beider Lichtquellen.

Figur 10 zeigt das Bunsen'sche Photometer in der Form, in welcher es am meisten angewendet wird. An einer optischen Bank befindet sich eine Theilung in

Fig. 10.



Centimetern und auf der Bank sind die beiden Lichtquellen L und L_1 (Kerze und Glühlampe), sowie der zwischen den beiden Spiegeln S und S_1 aufgestellte Photometerschirm P mit dem Fettfleck F verschiebbar. Alle Theile sind in der Höhe verstellbar, so dass sie zu einander so aufgestellt werden können, dass die Strahlen beiderseits senkrecht auf den Fettfleck fallen.

Die Vergleichslichtquelle L wird gewöhnlich in dem Nullpunkt der Theilung aufgestellt, die zu messende Lichtquelle L_1 in solcher Entfernung, dass die Beleuchtung

des Photometerschirmes von mittlerer Helligkeit ist, da bei dieser die grösste Genauigkeit erzielt wird. Das Photometergehäuse wird zwischen den beiden Lichtquellen so verschoben, dass die Beleuchtung der beiden Seiten des Photometerschirmes die gleiche ist. Die Quadrate der an der Theilung der Photometerbank abzulesenden Entfernungen der Lichtquellen L und L_1 von P ergeben dann das Verhältniss der Helligkeiten beider Lichtquellen. Werden die Lichtquellen L und L_1 in fester Entfernung von einander aufgestellt, also etwa bei 0 und 150, so kann statt der Centimetertheilung gleich der Quotient aus den Quadraten der Entfernungen an der Bank bezeichnet werden, also bei 75 die Helligkeit 1, bei 50 die Helligkeit 4, bei 30 die Helligkeit 16 u. s. f. Endlich dient der Halter M zur Aufnahme von Flüssigkeitszellen, farbigen Gläsern oder Linsen, über deren Anwendung später verhandelt werden wird.

Ein grosser Uebelstand des Bunsen'schen Photometers mit den Rüdorff'schen Spiegeln ist der, dass die beiden mit einander zu vergleichenden Bilder des Fettfleckes F sehr weit von einander entfernt sind. Dieser Nachtheil ist bei dieser Construction nicht zu vermeiden, da man wegen der Schatten, welche die Spiegel selbst auf den Papierschirm werfen, dem Fettfleck immer eine beträchtliche Entfernung von dem Scheitel des Winkels der Spiegelebenen geben muss. Wenn man auch mittelst einiger Uebung eine ziemliche Genauigkeit der Beobachtungen erzielt, so ist die Nothwendigkeit, zwei Flächen mit einander zu vergleichen, die weit auseinander liegen, vielfach ein Grund, der von vorneherein von der Benützung des Bunsen-Photometers

abschreckt und die Wahl auf das Foucault-Photometer fallen lässt.

Von Hefner-Alteneck und vom Verfasser sind Mittel angegeben worden, den grossen Vorzug des Bunsen-Photometers, die Benutzung eines Fettfleckes, mit dem Vorzug des Foucault-Photometers, die Vergleichung zweier, in einer feinen Linie aneinander stossender Flächen zu verbinden.

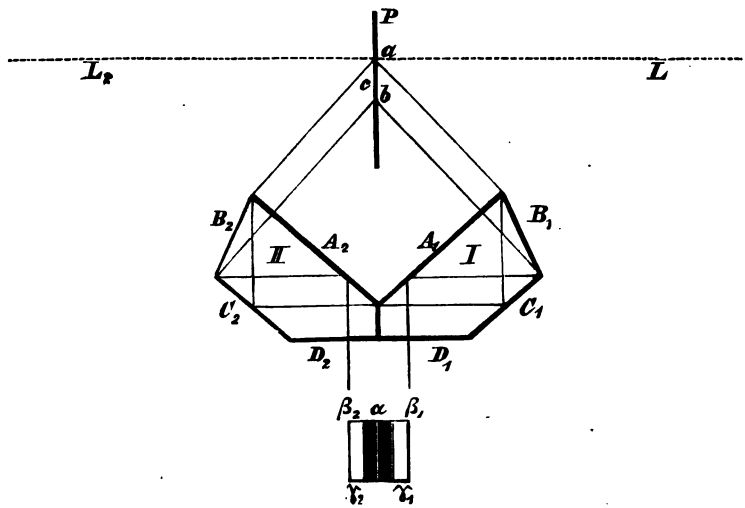
Hefner-Alteneck ersetzt die beiden hinter den Papierschirm gestellten Spiegel durch zwei Prismen, welche er vor dem Schirm anbringt. Durch Brechung in denselben kann das davor befindliche Auge die beiden Seiten des Papierschirmes gleichzeitig wahrnehmen Hier ist der schädliche Raum vermieden, welcher im Schatten der beiden Spiegel liegt, der Papierschirm ist unmittelbar an dem Endpunkte der Linie, in welcher die beiden Prismen zusammenstossen, zu benutzen und die beiden beleuchteten Felder, resp. ihre Bilder, stossen so unmittelbar aneinander.

Ein wesentlicher Nachtheil der Hefner-Alteneck-schen Anordnung ist aber, dass die Bilder der beiden Seiten des Papierschirmes durch Brechung in einem Prisma entstehen. Die Folge hiervon ist, dass die Bilder etwas verzerrt erscheinen (gerade Linien haben bekanntlich etwas gekrümmte Bilder) und hauptsächlich, dass nebenbei eine Farbenzerstreuung eintritt; jedoch können diese Nachtheile, wie Hefner-Alteneck selbst angibt, durch Benutzung achromatisirter Prismen beseitigt werden.

Verfasser bedient sich lediglich der Spiegelung durch Anwendung zweier Reflexionsprismen I und II.

In der Verlängerung der Mittelebene, in welcher die beiden Prismen zusammenstossen, steht der Papierschirm P. Die Winkel der Flächen der Prismen gegeneinander sind so gewählt, dass die Strahlen, welche von allen Punkten des Papierschirmes zwischen a und b senkrecht auf die Fläche A_1 des Prisma I fallen, an

Fig. 11.



B_1, C_1 und A_1 reflectirt werden und dann senkrecht zur Fläche D_1 wieder aus dem Prisma austreten. Ebenso ist der Verlauf der Strahlen in dem zweiten Prisma II. Vor den Flächen D_1 und D_2, welche in einer scharfen Kante zusammenstossen, kann ein Rohr angebracht werden von je nach der Sehweite des Beobachters zu verändernder Länge, an dessen Ende sich eine Blendung mit kleiner Oeffnung befindet, durch welche die Stellung

des beobachtenden Auges in der Ebene des Papierschirmes fixirt wird.

Das Auge sieht dann das Gesichtsfeld durch die Trennungslinie α der beiden Flächen D_1 und D_2 in zwei gleiche Hälften getheilt, die rechte Hälfte ist das Bild der rechten Seite des Papierschirmes, welche von der einen Lichtquelle L_1, die linke Hälfte dasjenige der linken Seite des Schirmes, welche von der zweiten Lichtquelle L_2 beleuchtet wird. Dabei fällt das Bild von a in die Mittellinie α, die Bilder von b in die seitlichen Grenzen des Gesichtsfeldes β_1 und β_2.

Legt man nun die optische Axe des Photometers durch den Punkt a senkrecht zur Ebene des Papierschirmes und fettet das Stück des Papierschirmes von a bis c, so sind γ_1 und γ_2 die Bilder der Grenzen des Fettfleckes. Zu beiden Seiten der Mittellinie α findet bei der richtigen Einstellung des Photometers vollkommen gleiche Beleuchtung statt und diese Einstellung ist dadurch, dass die miteinander zu vergleichenden Flächen unmittelbar aneinanderstossen, eine sehr bequeme.

Versuche mit diesem Photometer haben gezeigt, dass damit eine sehr sichere und genaue Einstellung möglich ist. Durch Einsetzen eines ungefetteten Papierschirmes oder nur durch Verschieben des Papierschirmes, so dass der Fettfleck ausserhalb des wirksamen Raumes $a\,b$ liegt, kann man den Apparat leicht in ein Foucault-Photometer verwandeln und sich überzeugen, dass letzteres bedeutend weniger genaue Resultate ergiebt als das Bunsen-Fettfleck-Photometer.

Es giebt noch eine ganze Reihe von Modificationen der bisher angeführten Photometer; auf dieselben einzu-

gehen, verbietet der Umfang und der vornehmlich praktische Zweck dieses Buches.

Photometer mit Benutzung verschiedener physikalischer Thatsachen.

Bei einer zweiten Classe von Photometern wird die Entfernung der Lichtquellen von der zu beleuchtenden Fläche nicht, oder wenigstens nicht ausschliesslich, bei den Helligkeitsmessungen benutzt, sondern es werden andere Mittel zur Schwächung des Lichtes in Anwendung gebracht.

Am naheliegendsten ist es, irgend ein absorbirendes Mittel zu diesem Zwecke zu benutzen. Sehr einfach hilft sich Th. Stevenson, indem er ein Rohr von veränderlicher Länge mit einer Mischung von Tinte und Wasser füllt. Weber wendet bei seinem später noch zu beschreibenden Photometer je nach Bedürfniss eine grössere oder geringere Anzahl von Milchglasplatten an. Desgleichen Crova, während Abney photographisch abgetönte Platten benutzte. Pickering wendet einen Keil aus Rauchglas an, Sabine einen solchen von Milchglas, Hähnlein einen hohlen Glaskeil, welcher mit absorbirender Flüssigkeit gefüllt wird. Je näher seiner Basis die von der Lichtquelle kommenden Strahlen einen derartigen Keil durchsetzen, eine um so grössere Menge dieser Strahlen wird absorbirt.

Wegen der auswählenden Absorption, welche die halbdurchsichtigen Mittel auf die Strahlen mehr oder minder ausüben, ist ihre Anwendung immerhin etwas bedenklich.

Empfehlenswerther ist deshalb das von Guthrie, Napoli und Hammerl angegebene Mittel, in den Gang der Lichtstrahlen rotirende Scheiben einzuschalten, in welchen entweder Löcher oder Sectoren ausgeschnitten sind; es giebt dann das Verhältniss der frei bleibenden Oeffnungen zu dem undurchsichtigen Theil der Scheiben das Maass für die Lichtschwächung. Noch besser, weil einfacher, ist die Anwendung von Linsen, welche das Licht zerstreuen und so nur einen bestimmten, aus Brennweite und Entfernung der Linsen von Lichtquelle und zu beleuchtender Fläche berechenbaren Theil zur Vergleichung gelangen lässt. Dieses Mittel wurde von Perry und Ayrton und von Hopkinson angegeben und es soll wegen seiner Wichtigkeit für die elektrotechnische Photometrie später auf dasselbe zurückgekommen werden.

Cornu schaltete in den Gang der von den beiden Lichtquellen kommenden Strahlen je ein achromatisches Objectiv ein und veränderte durch eine Mikrometervorrichtung die wirksame Oeffnung desselben und damit die auf den Photometerschirm fallende Lichtmenge. Ein ähnliches Verfahren wurde schon von Bouguer vorgeschlagen, später von Fizean und Foucault, von Simonoff, sowie bei den Sternphotometern von Herschel und von Steinheil angewendet.

Bei einer grossen Zahl von Photometern wird zur Schwächung des Lichtes die Polarisation benutzt, so bei den Photometern von Arago, Zöllner, Wild u. A. Unter den verschiedenen Mitteln zur Polarisation, welche in diesen Instrumenten zur Anwendung kommen, soll nur als Beispiel des hier in Betracht kommenden Vor-

ganges die Schwächung des Lichtes beim Durchgange durch zwei hintereinander stehende Nicol'sche Prismen besprochen werden. Geht Licht durch ein Nicol'sches Prisma, so wird es polarisirt, d. h. die Aethertheilchen, deren Bewegung die Ursache der Lichtempfindung sind und welche im Allgemeinen in allen möglichen Ebenen schwingen, werden gezwungen, nur in einer ganz bestimmten Ebene ihre Schwingungen auszuführen. Wird nun ein zweites solches polarisirendes Prisma in den Gang der Lichtstrahlen eingeschaltet, so kann man demselben bekanntlich eine solche Stellung geben, dass gar kein Licht hindurchgeht; dreht man dasselbe aber um 90 Grad, so lässt es alles Licht durch, mit Ausnahme der geringen in der Masse des Prisma absorbirten Lichtmenge. Man hat es also in der Hand, durch Drehung des Nicol'schen Prisma um 90 Grad die Intensität der hindurchgehenden Strahlen von ihrer vollen Stärke bis auf Null allmälig zu reduciren.

Von den Polarisations-Photometern ist dasjenige von Wild wohl am meisten angewendet worden.

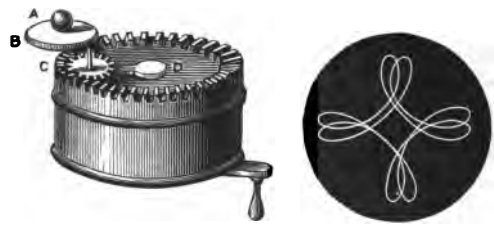
Zwei höchst interessante Photometer, dasjenige von Wheatstone und von Masson, weichen von den vorstehenden vollständig ab. Beide benutzen die Dauer eines Lichteindruckes auf die Retina des Auges. Bei dem Wheatstone'schen Photometer ist eine glänzende Stahlkugel *A* auf einer schwarzen Scheibe befestigt, diese wird excentrisch getragen von einem Zahnrad *C*, welches sich an dem inneren Umfange des ebenfalls gezahnten Kreises *D* bewegen kann.

Wird nun die Kugel *A* mit Hilfe des Handgriffes *F* in schnelle Bewegung gesetzt und fällt gleichzeitig

Licht von einer Lichtquelle auf die glänzende Kugel, so wird das Auge eine geschlossene, aus Epicycloiden bestehende Figur erblicken. Wird die Kugel gleichzeitig von zwei Lichtquellen beleuchtet, so erblickt man zwei Figuren nebeneinander, deren Helligkeiten durch passende Entfernung der Lichtquellen von der Kugel einander gleich gemacht werden. Sodann ergiebt das Verhältniss der Quadrate der Entfernungen das Verhältniss der Helligkeiten beider Lichtquellen.

Der wesentlichste Bestandtheil des Masson'schen Photometers ist eine Scheibe mit abwechselnd schwarzen

Fig. 12.



und weissen Sectoren. Ertheilt man einer solchen Scheibe eine schnelle Rotation, so erscheint sie von gleichmässig grauer Farbe. Wird sie aber dann plötzlich in einem genügend kurzen Zeitraum erleuchtet, so scheint die Scheibe vollständig ohne Bewegung zu sein, die Sectoren erscheinen deutlich schwarz und weiss. Wird die Wirkung einer derartigen augenblicklichen Beleuchtung durch allmäliges Entfernen der rotirenden Scheibe von der Lichtquelle vermindert, so wird bei gewisser Entfernung die Beleuchtung zu schwach, um die Sectoren unterscheiden zu lassen und die Scheibe scheint wieder gleichmässig grau. Die Helligkeiten der auf diese Weise untersuchten

Lichtquellen verhalten sich dann wieder wie die Quadrate ihrer Entfernungen, und es sollen ohne Schwierigkeit recht genaue Bestimmungen nach diesem Principe möglich sein. Masson construirte sein Photometer hauptsächlich zur Bestimmung der Helligkeit des elektrischen Funkens und des Blitzes.

Photometer zur Bestimmung des Beleuchtungswerthes der Lichtquellen.

Wir kommen nun zu einer Classe von Photometern, welche sich von den bisher beschriebenen wesentlich unterscheiden, und zwar von vorneherein weniger durch ihre Construction als durch den vollständig anderen Zweck, welcher mit ihnen erreicht werden soll, durch eine andere Auffassung der Aufgaben der praktischen Photometrie als diejenige, welche bei Construction der vorstehend behandelten Instrumente leitend war.

Es lässt sich nämlich das photometrische Problem in zwei von einander verschiedenen Weisen auffassen. Entweder man basirt es auf die Helligkeit, mit welchen Flächen durch die zu prüfenden Lichtquellen beleuchtet werden — die bisher beschriebenen Photometer waren sämmtlich auf die Methode der Flächenhelligkeit begründet — oder man basirt es auf die den beleuchteten Objecten verliehene Erkennbarkeit. Nach dieser letzteren, auf die Sehschärfe des menschlichen Auges sich stützenden Methode wird nicht die Gesammtintensität einer Lichtquelle, sondern ihr Beleuchtungswerth, d. i. ihre Fähigkeit zur Erkennbarmachung der

Objecte ermittelt, eine Art der Bestimmung, welche in der Praxis des Beleuchtungswesens ihre Bedeutung hat, und welche dem Ausspruche von Siemens Rechnung trägt: »Ein richtiges Photometer sollte verschiedenartiges Licht dann als gleich angeben, wenn es uns in gleicher Weise entfernte Objecte erkennbar macht.«

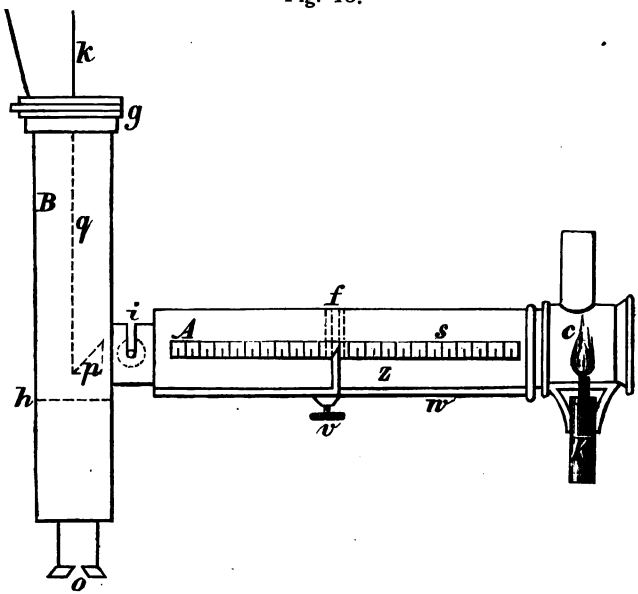
Es wird demgemäss unter diesem Gesichtspunkte die Wirkung zweier Lichtquellen in der Weise mit einander verglichen, dass man untersucht, in welcher Entfernung etwa feine Details einer Zeichnung noch erkannt oder feine Schrift noch gelesen werden kann.

Es enthalten deshalb die von Th. Stevenson Hähnlein, Simonoff und L. Weber vorgeschlagenen Photometer gemeinsam als wesentlichen Bestandtheil Objecte mit feinen Einzelheiten, während die Art, die von den Lichtquellen kommenden Strahlen abzuschwächen eine verschiedene ist. Stevenson und Simonoff benutzen dazu die Einschränkung des wirksamen Strahlenbündels, Hähnlein einen absorbirenden Keil und L. Weber vornehmlich die Entfernung der Lichtquellen. Letzterer hat dieses photometrische Verfahren zum ersten Mal wissenschaftlich durchgearbeitet und deshalb soll das Weber'sche Photometer, als Typus dieser Classe von Instrumenten, in Nachstehendem beschrieben werden.

A ist ein circa 30 Cm. langer, innen tief geschwärzter Tubus von circa 8 Cm. Durchmesser. Derselbe wird von einem in der Zeichnung nicht angegebenen Stativ in horizontaler Lage gehalten. Auf dem einen Ende ist das Brennergehäuse *C* durch Bajonnetverschluss angesetzt, in welchem die als Hilfsnormallicht benutzte Benzinkerze *K* von unten her eingesetzt werden kann. Ein

Spalt erlaubt die Länge der Flamme an einer vertical dahinter gestellten (in der Figur nicht angegebenen) Scala auf Spiegelglas bis auf 0·1 Mm. genau abzulesen. — Die Regulirung der Flammenhöhe l lässt sich durch Drehen der ganzen Kerze bewirken, indem die oberste drehbare Dochthülse durch einen zarten Stift

Fig. 13.



festgehalten wird. Innerhalb A ist ein Rahmen f mittelst der an einer Triebstange w sich fortdrehenden Schraube v verschiebbar, wobei ein mit f verbundener Zeiger z längs der in Millimeter getheilten Scala s fortrückt und die Entfernung r der in f befindlichen runden Milchglasplatte von der Kerze K abzulesen gestattet. Gegen den Tubus A ist rechtwinklig, drehbar und durch eine in dem Schlitz i

steckende Pressschraube fixirbar ein zweiter Tubus B gesetzt. Derselbe ist in der Zeichnung in verticaler Lage dargestellt, während die in der Regel benutzte eine horizontale ist. Für verticale Benutzung wird dem Apparate noch ein vor das Ocularloch zu setzendes in der Figur nicht vorhandenes Reflexionsprisma beigegeben, um die Beobachtung bequemer zu machen. Innerhalb B befindet sich mit B fest verbunden das Reflexionsprisma p, mittelst dessen der in O hineinblickende Beobachter auf die in f steckende von K beleuchtete Milchglasplatte sieht, und zwar in der rechten Hälfte des theils durch ein Diaphragma h, theils durch die scharfe linke Kante des Prismas begrenzten Gesichtsfeldes.

In der linken Hälfte des Gesichtsfeldes sieht man auf die in dem Kasten g steckende Milchglasplatte, eventuell bei gewissen Versuchen unmittelbar auf eine vor dem Apparat in beliebiger Entfernung befindliche beleuchtete weisse Fläche. Das Auge hat hiebei durchaus keine Empfindung des Abstandes zwischen h und g oder h und f, sondern erhält den Eindruck, als seien die hellen Flächen unverrückbar in der Ebene h gelegen. In B ist ausserdem von g bis zur Kante des Prismas hin eine verticale Blende q eingesetzt, um alles Licht abzuhalten, welches von g aus in's Prisma fallen könnte. Vor den Kasten g lässt sich ein Abblendungsconus k setzen, welcher für einzelne Messungen nur die nebensächliche Bedeutung der Abblendung fremden Lichtes hat, dessen Oeffnungsweite für eine andere Art von Messungen dagegen von unmittelbarem Einfluss auf das Resultat ist.

Die Einstellung des Apparates geschieht in allen Fällen dadurch dass der Tubus B auf die zu unter-

suchende Lichtquelle (helle Flächen, Flammen oder Normalkerzen) gerichtet und sodann durch Verschiebung von f gleiche Helligkeit im Gesichtsfeld hergestellt wird. Ist dieses erreicht, so scheinen die beiden Hälften des letzteren in eine und dieselbe Fläche zu verschwimmen.

Das Instrument, soweit es bis jetzt beschrieben ist, stimmt also im Principe mit dem Foucault'schen Photometer überein; es wird hier aber eine Hilfslichtquelle eingeschaltet, deren Beziehung zu der als Grundlage zu benutzenden Normallichtquelle, der Lichteinheit, festgestellt werden muss. Bei sehr hellen Lichtquellen, deren Entfernung nicht passend gross gemacht werden kann, werden bei g eine grössere Anzahl Milchglasplatten eingeschaltet.

Um nun den Beleuchtungswerth einer Lichtquelle zu bestimmen, benutzt man die Formel

$$B = kJ,$$

in welcher unter J die Intensität eines beliebigen Farbencomplexes der Lichtquelle (z. B. des rothen, durch Kupferoxydulglas hindurchgegangenen Lichtes) und unter k ein von diesem Farbencomplex und der specifischen Beleuchtungskraft der Lichtquelle abhängiger Factor verstanden wird. Zur Ermittelung von k sind zwei Versuche erforderlich. 1. In den beweglichen Tubus wird nur eine und zwar besonders präparirte Milchglasplatte gesteckt. Auf derselben ist eine, aus schwarzen Schraffirungen verschiedener Feinheit hergestellte, kleine Zeichnung photographisch fixirt. Man beleuchtet diese Platte mit dem Normallicht und zwar in modificirbarer Helligkeit. Es ist dies z. B. dadurch zu machen, dass man den beweglichen Tubus gegen einen weissen Schirm richtet

und diesen von dem Normallicht beleuchten lässt. Durch kleine Drehungen des Schirmes kann man dann leicht die gewünschten Abstufungen der Helligkeit erreichen. Dabei wählt man diejenige Helligkeit, bei welcher eine Art der Schraffirung gerade noch deutlich erkennbar ist und die nächst feineren nicht mehr. Sodann schiebt man das rothe Glas in den Tubus und stellt, ohne sonst etwas zu ändern, den Apparat wie bisher ein. 2. In derselben Weise wie vorhin beleuchtet man die allein in dem beweglichen Tubus steckende Milchglasplatte mit der zu untersuchenden Lichtquelle wiederum bis zur deutlichen Erkennbarkeit derselben Art von Schraffirung. Man schiebt abermals die rothe Glasplatte vor und stellt ein.

Hatte nun die Benzinlampe das erste Mal die Entfernung r_1 von der Milchglasplatte f, das zweite Mal die Entfernung r_2, und blieb die Hilfslichtquelle inzwischen constant, so hat man

$$k = \frac{r_2^2}{r_1^2}.$$

Die Ermittelung von k kann nach den bezüglichen Untersuchungen Macé de Lépinay's, sowie nach Weber's Messungen auch dadurch gemacht werden, dass man eine einfache photometrische Bestimmung der betreffenden Lichtquelle mit einem rothen und eine zweite mit einem grünen Glase ausführt. Der Quotient der für Grün und Roth ermittelten Intensitäten $\frac{Gr}{R}$ ändert sich alsdann sehr merklich, zunehmend mit Aenderung der Farbe der untersuchten Lichtquelle und dementsprechend sich ändernden Werthen k. Es lässt sich demnach eine Tabelle aufstellen, aus der man zu

gefundenen Werthen $\frac{Gr}{R}$ die zugehörigen für k entnimmt. Weber fand als solche aus Versuchen mit Glühlampen hervorgehende Beziehungen:

$\frac{Gr}{R}$	k	$\frac{Gr}{R}$	k
0·3	0·50	1·0	1·00
0·4	0·56	1·1	1·08
0·5	0·64	1·2	1·15
0·6	0·72	1·3	1·22
0·7	0·80	1·4	1·28
0·8	0·87	1·5	1·34
0·9	0·94	1·6	1·40
1·0	1·00	1·7	1·46

Ist die Farbe des untersuchten Lichtes gleich derjenigen der Normalkerze, so ist $k = 1$. Man kann also in diesem Falle nach Belieben entweder mit rothem vor das Auge gehaltenen Glase oder ohne solches beobachten.

III.

Besondere Vorrichtungen zur elektrotechnischen Photometrie.

Theorie der Dispersionslinsen.

Bei der grossen Helligkeit der elektrischen Bogenlampen und der im ersten Abschnitte hervorgehobenen

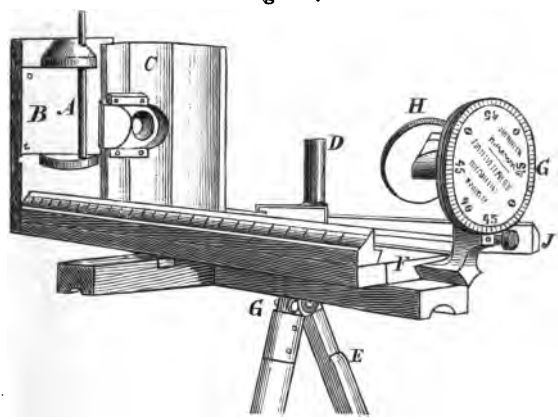
Eigenthümlichkeit des menschlichen Auges, die grösste Empfindlichkeit gegen Lichtunterschiede zu besitzen, also die grösste Genauigkeit der Einstellungen zu erzielen bei einer mittleren, etwa derjenigen des diffusen Tageslichtes gleichkommenden, Beleuchtung, ist es nothwendig, die Helligkeiten, mit welchen der Photometerschirm durch die Bogenlampe beleuchtet wird, möglichst auf diese mittlere Beleuchtung zu bringen. Zu diesem Zwecke wird man am einfachsten die zu photometrirende Bogenlampe in grosser Entfernung aufstellen. Einer solchen Anordnung stehen jedoch zwei Umstände entgegen. Erstens wird man in den seltensten Fällen genügend grosse Räume zur Verfügung haben und ferner ist von Ayrton und Perry darauf hingewiesen worden, dass bei grosser Entfernung der Bogenlampe die Absorption, welche die Lichtstrahlen in der durchlaufenen Luftschicht erfahren, allenfalls das Resultat trüben könne.

Aus diesen Gründen hat man sich nach Mitteln umgesehen, durch welche auch bei verhältnissmässig geringer Entfernung der Bogenlampe die Beleuchtung des Photometerschirmes in genügender Weise geschwächt wird. Als hervorragendstes dieser Mittel bietet sich die von Ayrton und Perry zuerst vorgeschlagene Anwendung von Dispersionslinsen dar. Durch diese wird das von der Bogenlampe kommende Strahlenbüschel zerstreut und über eine grössere Fläche ausgebreitet, so dass auf die Flächeneinheit des Photometerschirmes eine geringere Lichtmenge trifft, als bei directer Bestrahlung ohne Zwischenschaltung solcher Linsen. Während schon im vorhergehenden Abschnitte auf die Anwendung von Dispersionslinsen hingewiesen worden

ist, soll bei ihrer Wichtigkeit für die praktische Photometrie hier die Theorie derselben eingehend gegeben werden.

Fig. 14 zeigt das von Ayrton und Perry angewendete Dispersions-Photometer; dasselbe ist ein Schattenphotometer Rumford'scher Art. Auf einem Dreifusse E kann das Instrument um die Axe G gedreht werden. A ist ein schwarzer Stab, dessen Schatten auf dem

Fig. 14.

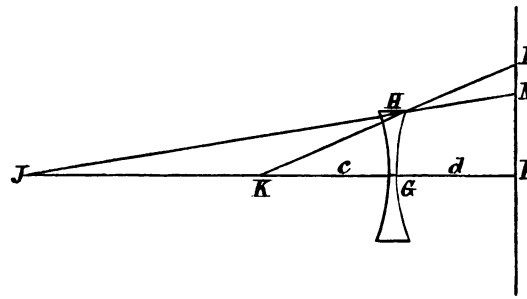


weissen Papierschirm B aufgefangen wird. Die Strahlen der Bogenlampe werden durch einen Spiegel H, auf dessen Zweck und Verwendungsart später zurückgekommen werden wird, auf den Stab A geworfen. Die Linse C kann auf einer Scala verschoben werden, während auf einer zweiten Scala der Halter D für die Normalkerze verschiebbar ist.

Befindet sich (Fig. 15) in der Entfernung $GF = d$ vom Photometerschirm eine Linse mit der negativen Brennweite p, so werden die von der in der Entfernung

$JF = x$ von dem Schirm aufgestellten Bogenlampe J ausgehenden Strahlen JHM so zerstreut, dass sie aus dem Punkte K zu kommen scheinen, wenn K der Schnittpunkt des Strahles JH mit der Axe nach seiner Brechung durch die Linse ist. Dieselbe Lichtmenge, welche ohne die Dispersionslinse auf dem Photometerschirm einen Kreis von dem Radius $FM = h$ beleuchtet haben würde, vertheilt sich demgemäss bei Einschaltung der Linse in G auf einen Kreis vom Radius $FL = h'$. Die Intensitäten der Beleuchtung des Schirmes ohne Linse und mit Linse

Fig. 15.



werden sich denn verhalten umgekehrt wie die Flächen dieser Kreise also, wie $h'^2 : h^2$.

Die Punkte J und K sind conjugirte Punkte in Bezug auf die Dispersionslinse, deren Brennweite $= p$ ist. Wird $GK = c$ gesetzt, so besteht nach dioptrischen Gesetzen die Gleichung

$$\frac{1}{x-d} + \frac{1}{c} = \frac{1}{-p},$$

woraus sich ergiebt

$$c = -\frac{p\,(x-d)}{x-d+p}.$$

Ist der Halbmesser der Linse $GH = o$, so verhält sich

$$h' : o = (c + d) : c$$
$$h : o = x : (x - d),$$

in welchen Proportionen c einfach als lineare Grösse ohne Berücksichtigung der Richtung positiv zu nehmen ist.

Dann ist

$$\frac{h'}{h} = \frac{p\,(x-d) + d\,(x-d+p)}{p\,x} = \frac{d\,(x-d)}{p\,x} + 1.$$

In dem Ausdrucke für die Intensität der Beleuchtung des Photometerschirmes von Seiten der Bogenlampe in der Richtung JF ist in Folge dessen anstatt x zu setzen

$$X = x\,\frac{h'}{h} = x\left(1 + \frac{d}{p}\right) - \frac{d^2}{p} = c_1\,x - c_2.$$

Für den Fall, dass die Dispersionslinse in fester Entfernung vom Photometerschirm aufgestellt ist, sind die Grössen c_1 und c_2 Constanten, welche von der Entfernung der Dispersionslinse vom Photometerschirm und von ihrer Brennweite abhängen.

Dieselben können auch durch Messungen am Photometer leicht experimentell bestimmt werden.

Ist die Dispersionslinse nicht in fester Verbindung mit dem Photometerschirm, so ist ihre Wirkung eine verschiedene, je nach ihrer Stellung zum Photometerschirm und zur Lichtquelle. Sie wird gleich Null in den beiden Fällen, wenn die Linse bis in den Ort des Schirmes, wie in denjenigen der Lichtquellen gerückt wird; es wird dann $d = O$, resp. $= x$ und X ist in beiden Fällen gleich x. Zwischen diesen beiden Stellungen der Linse muss es demgemäss eine dritte geben, in

welcher ihre Wirkung ein Maximum ist. Da in dem Ausdrucke für $\frac{h'}{h}$ das Product $p\,x$ constant ist, so wird das Maximum dieses Ausdruckes dann eintreten, wenn das Product $d\,(x - d)$ seinen grössten Werth hat. Solches ist bekanntlich dann der Fall, wenn $d = x - d$ oder $d = \frac{1}{2}\,x$ ist. Die zerstreuende Wirkung der Linse ist also dann am stärksten, wenn sie die Entfernung zwischen Lichtquelle und Schirm gerade halbirt, wie solches bereits von Voller gezeigt worden ist.

Der durch Reflexion an und Absorption in der Dispersionslinse entstehende Lichtverlust muss experimentell bestimmt und berücksichtigt werden, oder man kann denselben, wie Perry und Ayrton schon angedeutet und Voller weiter nachgewiesen hat, durch Einschaltung planparalleler Glasplatten auf der anderen Seite des Photometerschirmes compensiren.

Ein weiteres Mittel zur Schwächung des von der Bogenlampe kommenden Lichtes ist, wie schon angeführt, die Anwendung von rotirenden Scheiben mit Sectoren von beliebig zu regulirenden Oeffnungen; endlich ist zu diesem Zwecke auch die Einschaltung von Drahtnetzen in den Weg der Strahlen vorgeschlagen worden. Sind diese Netze einigermaassen dicht, so bringen sie eine gleichmässige Beleuchtung hervor und die durch sie hindurchgegangene Lichtmenge ist proportional der Grösse der Oeffnungen der Netze, die mittelst eines Mikroskopes zu bestimmen sein würde. Dieses kann natürlich bequemer auch experimentell am Photometer ermittelt werden. Durch Uebereinanderlegen einer geringeren oder

grösseren Anzahl solcher Netze kann die Lichtschwächung in beliebiger Weise modificirt werden.

Die Anwendung farbiger Mittel.

Die grosse Verschiedenheit in der Farbe des elektrischen Bogenlichtes und derjenigen der Vergleichslichtquellen, nach welchen die Helligkeit des Bogenlichtes bestimmt werden soll, ist ein Umstand, welcher in der elektrotechnischen Photometrie höchst störend auftritt.

Wer zum erstenmale den Versuch macht, die Helligkeit eines intensiven Bogenlichtes mit derjenigen einer anderen Lichtquelle zu vergleichen, wird, selbst bei Anwendung des in diesem Falle günstigsten Bunsen'schen Photometers, die exacte Ausführung dieses Versuches für sehr schwierig, wenn nicht für eine Unmöglichkeit erklären. Die beiden Seiten des Photometerschirmes erscheinen in vollständig von einander abweichenden Färbungen, einerseits röthlich-gelb, anderseits grünlich-blau. Vergegenwärtigt man sich dann noch bei genauerer Ueberlegung der Sachlage, dass theoretisch ein solcher Vergleich eigentlich ganz unstatthaft ist, da die eine Lichtquelle Lichtstrahlen enthält, welche in der anderen fehlen, so dass die eine nicht das Maass der anderen sein kann, so kommt man leicht in Versuchung, die ganze elektrotechnische Photometrie und ihre Resultate als vollständig werthlos anzusehen.

Dennoch wird man fort und fort dazu genöthigt werden, Helligkeitsmessungen an elektrischen Lampen vorzunehmen, da man doch elektrisches Licht erzeugt und ohne Bestimmung der Helligkeit desselben über die

erzielte Leistung vollständig im Unklaren ist. Der Fabrikant dynamo-elektrischer Maschinen und Lampen bedarf derselben zur Controle seines Fabrikates, zur Controle der Fortschritte, welche er in der Ausnutzung der aufgewendeten Kraft macht, der Techniker kann sie nicht entbehren, wenn er die Leistungen einer Construction mit denjenigen anderer, sowie das Verhältniss der elektrischen Beleuchtung zu derjenigen mit anderen Lichtquellen feststellen will, denn die Frage nach den Kosten einer Beleuchtung ist ohne genaue Kenntniss ihrer Leistung nicht exact zu beantworten.

In der Verlegenheit, welche durch die verschiedene Färbung der miteinander zu vergleichenden Lichtquellen entsteht, liegt nun Jedem der Ausweg nahe, durch Anwendung farbiger Mittel diesen Farbenunterschied aufzuheben oder doch wenigstens auf ein geringeres Maass zurückzuführen und es sind in Folge dessen von verschiedenen Seiten die verschiedensten Mittel vorgeschlagen worden.

Es lässt sich aber leider für keines derselben eine theoretische Berechtigung erweisen.

Um von vorneherein einen Ueberblick zu geben, wie gross der Unterschied in der Färbung des elektrischen Bogenlichtes und derjenigen anderer Lichtquellen in der That ist, seien hier einige auf spectrophotometrischem Wege erhaltene Messungsresultate mitgetheilt.

O. E. Meyer stellte die Helligkeit des elektrischen Bogenlichtes fest in folgenden Zahlen für die verschiedenen Bezirke des Spectrums, wobei die Helligkeit eines Gasbrenners in jedem der betreffenden Bezirke = 1 gesetzt ist.

Roth	0·51
Gelb	1·00
Grün	2·33
Blau	3·70
Violett	6·67.

A. Crova theilt Vergleichszahlen mit über die Helligkeiten des Bogenlichtes und des Lichtes einer Moderateurlampe (Carcel-Brenner) für verschiedene Wellenlängen:

Wellenlänge	676	605	560	523	486	459
Elektrisches Licht . .	1000	707	597	506	309	228
Moderateurlampe . .	1000	442	296	100	80	27

Desgleichen giebt W. H. Pickering Mittheilungen darüber, in welchem Verhältniss die Helligkeit einiger Lichtquellen zu derjenigen eines Carcel-Brenners in den verschiedenen Spectralbezirken steht:

Spectrallinien	C	D	b'	$F\frac{1}{2}G$
Kerze	73	100	104	134
Gaslampe	74	100	103	125
Elektrisches Licht .	61	100	121	735

und dieselbe Bedeutung in Bezug auf das Licht einer Petroleumflamme haben die von H. C. Vogel gegebenen Zahlen

Wellenlänge	633	600	555	517	486	464	444	426
Elektr. Licht	0·53	0·67	1·00	1·57	2·33	3·12	4·00	5·00

Diese Zahlen sind alle unter etwas verschiedenen Gesichtspunkten abgeleitet, sie lassen sich aber doch wohl zusammenstellen unter der Voraussetzung, dass das Gaslicht, resp. dasjenige einer Oellampe, als Einheit angenommen und für die Spectralbezirke Roth, Gelb, Grün und Blau aus jedem der obigen Resultate die am

meisten diesen Farben entsprechenden Zahlen gewählt werden. Es ergiebt sich dann folgende Zusammenstellung:

	Roth	Gelb	Grün	Blau
O. E. Meyer . .	0·5	1·0	2·3	3·7
Crova	0·5	1·0	1·7	—
Pickering . . .	0·6	1·0	—	7·3
H. C. Vogel . .	0·5	1·0	2·3	5·0

Es zeigt sich aus den mitgetheilten Zahlen nun vor Allem der grosse Reichthum des elektrischen Bogenlichtes an stark brechbaren Strahlen im Vergleich zum Lichte der Oel- und Gasbrenner, mit welchen die Helligkeit des Bogenlichtes gewöhnlich verglichen wird; es ist dieses eine Thatsache, welche bekanntlich bereits bei oberflächlicher Betrachtung dem Laien auffällt.

Sodann zeigt sich aber eine auffallende Verschiedenheit in den Angaben der verschiedenen Forscher über die verhältnissmässige Helligkeit im brechbarsten Theile des Spectrums, die Zahlen für Blau schwanken zwischen 3·7 und 7·3. Es erklärt sich diese Verschiedenheit mit Leichtigkeit aus der aller Wahrscheinlichkeit nach verschiedenen absoluten Helligkeit der untersuchten Bogenlichter und es ist dieses ein Punkt, auf welchen im Folgenden zurückgegriffen werden wird, da er gerade von Wichtigkeit ist bei der Benutzung farbiger Mittel.

Der Vollständigkeit wegen seien hier noch analoge Verhältnisszahlen für das Licht der Glühlampen mitgetheilt; O. E. Meyer giebt solche, welche, wenn die Helligkeit des Gaslichtes überall = 1 gesetzt wird, lauten:

Roth	0·3
Gelb	1·0
Grün	1·4
Blau	1·0
Violett	1·1

Diese Zahlen beziehen sich auf eine Edison-*A*-Lampe und zeigen hauptsächlich das in der Flamme einer Gaslampe vorhandene mächtige Uebergewicht der rothen Strahlen.

In den Berichten über Helligkeitsmessungen an Bogenlampen findet sich zuerst bei Tresca eine Klage über die verschiedene Färbung der beiden Hälften des Schirmes seines Foucault'schen Photometers, von denen die eine durch eine Carcel-Lampe, die andere durch eine elektrische Lampe beleuchtet wurde. Die eine Zone erschien grün, wogegen die andere rosa gefärbt war, und Tresca giebt an, dass von den verschiedenen Methoden, welche versucht wurden, um den Unterschied in den beiden Nuancen zu corrigiren, sich als die beste diejenige bewährt habe, etwas in entgegengesetztem Sinne gefärbte Glasplatten einzuschalten. Das soll doch wohl heissen, dass in den Weg derjenigen Lichtstrahlen, welche von der röthlichen Carcel-Lampe herstammen, ein grünliches Glas, in den Gang der von der elektrischen Bogenlampe kommenden Strahlen aber ein röthlich gefärbtes Glas eingeschaltet werden soll. Wären die einzuschaltenden farbigen Gläser vollkommen complementär zu den Strahlen der betreffenden Lichtquellen, so würden gar keine Strahlen hindurchkommen und der Photometerschirm beiderseits dunkel bleiben, da aber farbige Gläser angewendet werden sollen, welche nur in etwas ent-

gegengesetztem Sinne gefärbt sind, so wird wohl beiderseits ein mattgefärbtes Grau erzeugt werden, dessen Tönung beiderseits ziemlich die gleiche sein kann.

Der Zweck, den Unterschied in den beiden Nuancen zu corrigiren, wird also durch die von Tresca vorgeschlagene Anordnung wohl erreicht. Es ist nur schlechterdings nicht einzusehen, wie der durch die Einschaltung der farbigen Glasplatten beiderseits hervorgerufene Lichtverlust in Rechnung gezogen werden soll. Tresca scheint allerdings von vorneherein anzunehmen, dass der Verlust an rothen Strahlen durch die grünliche Platte äquivalent demjenigen an grünen Strahlen durch die röthliche Platte sei, das wird aber wohl kaum zutreffend sein. Wollte man diesen Lichtverlust aber experimentell bestimmen, so wäre man wieder vor die Aufgabe gestellt, zwei von einander sehr verschiedene Farben in Bezug auf ihre Helligkeit mit einander zu vergleichen, was man ja gerade vermeiden wollte.

Obiger Vorschlag von Tresca scheint auch, wohl in Folge des angeführten Missstandes, wenig befolgt worden zu sein. Man kam vielmehr auf den Gedanken, ein einziges farbiges Mittel zu finden, durch welches man die beiden verschieden gefärbten Seiten oder Felder des Photometerschirmes betrachtet. Als diejenige Farbe, welche sich zu diesem Zwecke besonders eignet, wurde zuerst von Sautter, Lemonnier & Comp. ein bestimmtes Grün angegeben. Die hohe Berechtigung gerade dieser Farbe wurde von Crova nachgewiesen, welcher in folgender Weise argumentirte.

Man denke sich die homogenen Strahlen, welche in dem Lichte einer elektrischen Bogenlampe und einer

Normal-Carcel-Lampe enthalten sind, in zwei continuirlichen Spectren ausgebreitet. Wenn die Entfernungen der beiden Lichtquellen vom Spectrophotometer solche sind, dass ihre mittleren Erleuchtungen desselben gleich sind, so bieten die Spectren bei weitem nicht denselben Anblick dar; dasjenige der Kohlenspitzen ist viel heller gegen das violette Ende und viel weniger hell gegen das rothe als dasjenige der Oellampe, wie solches schon aus den oben mitgetheilten Zahlen hervorgeht. Da die Emissions-Temperatur des elektrischen Lichtes viel höher als diejenige der Oellampe ist, wird das Verhältniss der Intensitäten der homogenen Strahlen des elektrischen Lichtes zu den Intensitäten der correspondirenden Strahlen im Spectrum der Lampe bei Gleichheit der mittleren Beleuchtung ausgedrückt durch einen Bruch grösser als die Einheit gegen das Violett; wenn man sich jedoch dem Roth nähert, vermindert sich dieses Verhältniss allmälig in continuirlicher Weise und wird am rothen Ende kleiner als die Einheit sein.

Es existirt also eine bestimmte homogene Strahlenart, deren Wellenlänge abhängt von der Natur der beiden verglichenen Lichtquellen, für welche dieses Verhältniss genau gleich der Einheit ist; wenn diese Strahlenart genau bekannt ist, wird die Messung des Verhältnisses ihrer Helligkeiten in den beiden Spectren genau das Verhältniss der Totalintensitäten der beiden Lichtquellen ergeben.

Um diese Strahlenart zu bestimmen, ist also zuerst nothwendig, die beiden Lichtquellen in solche Entfernungen zu bringen, dass ihre mittleren Erleuchtungen des Photometerschirmes die gleichen sind. Hat man diese Aufgabe

gelöst, dann hat man ja aber bereits das Helligkeitsverhältniss der beiden Lichtquellen zu einander ermittelt, in dieser Ermittelung liegt aber gerade die Schwierigkeit. Indem Crova so operirte, fand er, dass Strahlen von der Wellenlänge $\lambda = 582$ der gestellten Forderung entsprechen, dass nämlich die Curve des Spectrums des elektrischen Lichtes bezogen auf die Helligkeit der Carcel-Lampe für diese Strahlen Ordinaten $= \pm O$ habe und er gab ferner an, dass Eisenchlorid und Nickelchlorür in bestimmtem Verhältniss gemischt, gerade nur diese Strahlenart durchlassen.

Wenn sich diese Methode auch bei oberflächlicher Betrachtung ganz gut ansieht, so darf man nicht vergessen, sich zu vergegenwärtigen, dass die Strahlenart, welche Crova als die seiner Bedingung entsprechende herausfand, nur für seinen speciellen Fall, für die Carcel-Lampe und die von ihm untersuchte elektrische Bogenlampe die richtige ist. Sobald die Emissions-Temperatur der letzteren eine andere ist, wird auch die Vertheilung des Lichtes in ihrem Spectrum eine andere sein, so dass der neutrale Punkt im Spectrum für jede Lampe von anderer Gesammthelligkeit auf's neue bestimmt werden müsste, was, wie bereits hervorgehoben, nur durch vorherige Bestimmung dieser Gesammthelligkeit erreichbar ist.

Wie sehr sich der hier in Betracht kommende Punkt des Spectrums verschiebt, wenn die Gesammt-Intensität sich ändert, mögen folgende von Abney mitgetheilte Beobachtungsresultate zeigen.

Abney bestimmte nämlich die Helligkeit einer elektrischen Bogenlampe bei Einschaltung eines rothen

Glases in die von derselben ausgehenden Strahlen, bei Einschaltung einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak (blau) und bestimmte endlich die chemische Wirkung auf Chlorsilberpapier unter Einschaltung einer Lösung von schwefelsaurem Chinin, und zwar für verschiedene Tourenzahlen der Maschine. Seine Resultate waren:

Umdrehungen	Roth	Blau	Chemisch
240	180	360	—
308	280	660	—
350	—	750	890
425	—	1700	—
460	860	2500	2700
490	—	3000	—
500	1080	—	—
520	—	4860	—
540	1620	—	—
550	—	4800	—
560	—	—	9000
565	—	6500	—
575	1520	—	—
580	2100	6000	10050
600	2400	10100	11020

Diese Zahlen zeigen, wie sehr sich die Vertheilung der Helligkeit im Spectrum mit der Gesammt-Intensität ändert; während sich die Helligkeiten von Roth und Blau bei 240 Touren wie 1 : 2 verhalten, steigt dieses Verhältniss bei 600 Umdrehungen auf 1 : 4·2. Je heller die Bogenlampe wird, desto grösser wird das Uebergewicht der stärker brechbaren Strahlen.

Dasselbe zeigt sich bereits bei Glühlampen, wie aus einer interessanten Versuchsreihe von O. Schumann hervorgeht. Die folgenden Zahlen geben das Verhältniss der Helligkeit einer kleinen Edisonlampe zu derjenigen einer Benzinkerze in Roth und Indigo, wenn man die Helligkeit in dem einer Wellenlänge von $\lambda = 557$ entsprechenden Grün beider Lichtquellen einander gleichsetzt:

	Helligkeit	
Arbeit in Voltampère	Roth	Indigo
82	0·73	1·70
86	0·69	1·78
92	0·66	2·12
94	0·63	2·43
97	0·62	2·63
111	0·60	2·91
118	0·59	2·94
120	0·58	3·38

Die vorstehenden Zahlen über die Vertheilung der Helligkeit im Spectrum von Bogen- und Glühlampen bei verschiedenem Arbeitsaufwand, also auch bei verschiedener Gesammt-Intensität, zeigen, dass eine allgemeine Anwendung der Crova'schen Methode nicht statthaft ist. Die Wellenlänge derjenigen Lichtstrahlen, welche bei einem bestimmten Verhältniss der Gesammt-Intensitäten beider Lichtquellen zu einander der Bedingung entsprechen, dass das Verhältniss ihrer Helligkeiten dasselbe ist, wie das Verhältniss der Gesammt-Intensitäten, ändert sich, die Vergleichslichtquelle als constant vorausgesetzt, mit der Helligkeit der zu messenden elektrischen Bogenlampe.

Dagegen dürfte die Crova'sche Methode der Beobachtung durch ein grünliches Medium in solchen Fällen sehr verwendbar sein, wo man es annähernd immer mit denselben Helligkeiten zu thun hat, also etwa bei Prüfung von Maschinen und Lampen desselben Modells, welche stets mit der gleichen, für den betreffenden Fall günstigsten Tourenzahl vorgenommen wird. Die Helligkeit der Lampe wird hier nur in verhältnissmässig geringen Grenzen sich bewegen und deshalb die für einen mittleren Fall richtig gewählte Wellenlänge auch annähernd richtig bleiben, so dass man durch eine Messung mit Einschaltung eines grünlichen Mittels ein Resultat für die Gesammt-Intensität erhält, welches mindestens ebenso richtig ist, als wenn man directe Messungen mit den störenden Farbendifferenzen macht.

Es darf hier nicht unerwähnt bleiben, dass man zu einer derartigen Controle über die Leistungen verschiedener Maschinen und Lampen desselben Modells bei demselben Arbeitsaufwand natürlich nicht beschränkt ist auf Lichtstrahlen von derjenigen Wellenlänge, welche der Crova'schen Bedingung entspricht, man kann ebenso gut eine andere Farbe des Spectrums benutzen, also auch z. B. das rothe Kupferoxydulglas, welches bei dem von L. Weber angegebenen Photometer benutzt wird, nur erhält man in diesem Falle keine genauen Werthe für die Gesammt-Intensität der Bogenlampe, da das Verhältniss, in welchem sich das Roth in letzterer und in der Vergleichslichtquelle befindet, nicht gleich dem Verhältniss der Gesammt-Intensitäten ist. Es ist hier noch ein Factor anzubringen, dessen Bestimmung, wenn man die Crova'sche Methode ausschliesst, auf die Vergleichung der

Helligkeit eines monochromatisch rothen und eines weissen Lichtes hinauskommt, also physiologisch unmöglich ist.

Während also das Weber'sche Photometer, wenn man es analog dem Foucault'schen zur Bestimmung der Gesammt-Intensität der Lichtquelle anwendet, streng genommen nur für gleichfarbige Lichtquellen benutzbar ist, so liegt bei dessen Anwendung zur Bestimmung des Beleuchtungswerthes der Lichtquellen die Sache bedeutend günstiger.

Bei dieser Methode, welche auf der Sehschärfe des menschlichen Auges basirt ist, ist es wohl möglich, den besprochenen Factor zu bestimmen, da die verschiedene Farbe zweier Lichtquellen durchaus kein Hinderniss ist, festzustellen, welche Entfernung jede der beiden Lichtquellen von einer feinen Schrift oder Zeichnung haben muss, um sie in gleicher Weise deutlich zu erkennen, welche relativen Lichtmengen also zur Herstellung der gleichen Erkennbarkeit der Objecte erforderlich sind.

Dass dieses von Weber benutzte Verfahren, durch welches nicht die Gesammtintensität einer Lichtquelle (nach bisheriger Auffassung), sondern ihr Beleuchtungswerth, d. i. ihre Fähigkeit zur Erkennbarmachung der Objecte, bestimmt wird, in der Praxis des Beleuchtungswesens seine Bedeutung hat, darauf ist bereits hingewiesen worden. Es muss hinzugefügt werden, dass dieses photometrische Verfahren ein ganz anderes Verhältniss zwischen der Gasbeleuchtung und dem elektrischem Bogenlichte zu Tage fördern wird, wie die gewöhnliche Vergleichung der Gesammtintensitäten, und zwar ein dem Bogenlichte ungünstigeres Verhältniss; dieses ist reicher an stärker brechbaren

Strahlen als das Gaslicht, und nach den Untersuchungen von Macé de Lepinay bedarf das Auge, um auf dieselbe Sehschärfe zu gelangen, bedeutend grösserer Mengen blauen als rothen Lichtes.

Da die Bestimmung der Helligkeit des elektrischen Bogenlichtes für eine einzige Farbe keinen Schluss auf die Gesammthelligkeit gestattet, ist von mehreren Seiten die Benutzung zweier Farben anempfohlen worden. So bestimmten Perry und Ayrton die Helligkeit des Bogenlichtes zuerst durch ein rothes, dann durch ein grünes Glas, sie gaben aber nicht an, in welcher Weise die beiden Beobachtungsresultate zu combiniren seien.

Dass das Verhältniss der Intensitäten der rothen und grünen Strahlen durchaus nicht constant ist, zeigen wohl zur Genüge die mitgetheilten Zahlen Abney's und Schumann's.

Sodann empfahl Macé de Lepinay, die beiden Enden des Spectrums zur Messung zu benutzen. Er wandte als dasjenige Mittel, welches nur Roth durchlässt, eine 3 Cm. dicke Schicht von Eisenchlorid von 38° Beaumé an und für das Violett eine ebenso dicke Schicht Nickelchlorür von 18° Beaumé.

Ist die Gesammtintensität der zu messenden Lichtquelle im Vergleiche zur Carcel-Lampe $= J$, die Helligkeit in Roth $= R$, diejenige in Violett $= V$, so bleiben für alle Lichtquellen derselben Temperatur, wie Draper und E. Becquerel gezeigt haben, die Verhältnisse $\frac{J}{R}$ und $\frac{V}{R}$ constant; sie variiren aber continuirlich zusammen, wenn die Temperatur der Lichtquelle sich continuirlich verändert.

Es kann also $\frac{J}{R}$ als Function von $\frac{V}{R}$ aufgefasst werden und Macé de Lepinay stellte die Beziehung auf

$$\frac{R}{J} - 1 = 0{\cdot}208 \left(1 - \frac{V}{R}\right)$$

Er fand für eine Swan-Lampe

$$V = 0{\cdot}167$$
$$R = 0{\cdot}184$$

woraus folgt $J = 0{\cdot}18$, während direct gemessen sich $J = 0{\cdot}182$ ergeben hatte.

Desgleichen bestimmte er für Kalklicht

$$V = 6{\cdot}59$$
$$R = 5{\cdot}04$$

so dass $J = 5{\cdot}39$ ist, während aus einer directen Messung $J = 5{\cdot}43$ folgte.

Die Grösse des constanten Factors (0·208) hängt offenbar von der Form der Helligkeitscurve des Spectrums der zu messenden Lichtquelle, bezogen auf die als Einheit angenommenen Helligkeiten der einzelnen Spectralbezirke der Vergleichslichtquelle, ab, und wenn bei Lichtquellen der verschiedensten Gesammtintensitäten dieser Factor constant bleiben soll, so müssen die Ordinaten der relativen Helligkeitscurven proportional den Gesammtintensitäten sein. Es fehlen aber leider noch spectrophotometrische Untersuchungen der angedeuteten Art in systematischer Durchführung, aus welchen sichere Schlüsse auf die Veränderung der Helligkeitscurve der Lichtquellen bei Aenderung ihrer absoluten Helligkeit gezogen werden können.

Von vornherein scheint es etwas zweifelhaft, dass zwischen den Helligkeitsverhältnissen an zwei Punkten

des Spectrums zweier Lichtquellen und dem Verhältnisse ihrer Gesammtintensitäten eine derartig einfache Beziehung bestehen sollte, die für alle Lichtquellen von irgend welchen Helligkeiten und irgend welchen spectralen Zusammensetzungen Giltigkeit haben, wie Macé de Lepinay sie aufstellt. Die angegebenen Versuchsresultate beweisen nur wenig, da es sich bei denselben um Lichtquellen handelt, welche, im Vergleiche zum elektrischen Bogenlichte, sich in ihrer spectralen Beschaffenheit nur verhältnissmässig wenig von der Vergleichslichtquelle, dem Carcelbrenner, unterscheiden. Es wäre sehr zu wünschen, dass Versuche in dieser Richtung auch mit elektrischem Bogenlichte von verschiedenen Helligkeiten angestellt würden.

Dem Verfasser ist mehrfach der Vorschlag gemacht worden, nacheinander zwei farbige Mittel einzuschalten, welche genau complementär zu einander seien, dann werde das arithmetische Mittel aus den beiden Messungen wohl das richtige Resultat für die Gesammthelligkeit der Bogenlampe ergeben.

Aus obigen Darlegungen geht schon hervor, dass solches nicht ohne weiters richtig sein kann. Es lassen sich aber leicht die Bedingungen aufstellen, unter denen ein solches Verfahren anzuwenden ist.

Man denke sich das Spectrum der Vergleichslichtquelle, sowie dasjenige der elektrischen Bogenlampe in zwei Theile getheilt, die Grenze zwischen beiden Theilen liege in beiden Spectren an genau der gleichen Stelle. Sodann möge ein farbiges Mittel das eine Ende des Spectrums bis zu jener Grenze vollständig absorbiren, das andere Ende vollständig hindurchlassen, und ein

zweites farbiges Mittel gerade entgegengesetzt wirken. Bezeichnen wir die Farben dieser beiden Mittel der Einfachheit wegen mit Roth und Grün, so sind dieses Roth und dieses Grün einander vollständig complementär.

Bezeichnet man die Gesammtintensität, die Helligkeit dieses Roth und diejenige des so definirten Grün der Vergleichslichtquelle mit i, i_r und $i_{gr.}$ und versteht man unter J, J_r und $J_{gr.}$ dieselben Grössen für das elektrische Bogenlicht, so ist offenbar

$$\left.\begin{aligned} i &= i_r + i_{gr.} \\ J &= J_r + J_{gr.} \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

Setzt man $J = m\,i$, (2)

so ist für den Fall, dass beide mit einander zu vergleichende Lichtquellen vollkommen die gleiche spectrale Zusammensetzung haben

$$J = m\,i = m\,i_r + m\,i_{gr.} \qquad (3)$$

Ist die spectrale Zusammensetzung aber, wie in unserem Falle, nicht die gleiche, so werden die Factoren von i_r und $i_{gr.}$ in Gleichung (3) nicht dieselben sein, sondern

$$J = a\,i_r + b\,i_{gr.}$$

Ist $a < m$, so muss $b > m$ sein, und setzen wir $a = m - x$, so wird

$$J = m\,i = (m - x)\,i_r + b\,i_{gr.},$$

woraus folgt

$$b = \frac{m\,i - (m - x)\,i_r}{i_{gr.}}$$

Soll nun $a + b = 2\,m$ sein, so muss $b = m + x$ gesetzt werden, so dass wird

$$m + x = \frac{m\,i - (m - x)\,i_r}{i_{gr.}} = \frac{m\,i_{gr.} + x\,i_r}{i_{gr.}},$$

woraus die Bedingung folgt $i_r = i_{gr.}$, d. h.: Die zwei farbigen Mittel, welche in der Weise vollkommen complementär zu einander sind, wie vorstehend definirt wurde, müssen des weiteren die Eigenschaft haben, dass die Helligkeit der Summe aller Strahlen, welche von ihnen hindurchgelassen werden, bei beiden farbigen Mitteln die gleiche ist, und zwar in Bezug auf die als Vergleichsflamme gewählte Lichtquelle. Nur in diesem Falle entspricht das arithmetische Mittel aus den mit den beiden farbigen Mitteln erhaltenen Werthen der Gesammtintensität der elektrischen Bogenlampe.

Die Herstellung zweier solcher farbiger Mittel wird aber sehr schwierig sein. Vergegenwärtigt man sich, dass das eine einen Strahlencomplex hindurchlässt, dessen Farbe etwa rothgelb sein wird, während die Summen aller von dem anderen Mittel nicht absorbirten Strahlen ein Blaugrün ergeben wird, so sieht man sich wiederum vor die Aufgabe gestellt, die Helligkeit dieser beiden Farben mit einander zu vergleichen. Dazu kommt dann die weitere Schwierigkeit, die aber nur technischer Natur ist, Lösungen zu finden, deren Absorption gerade derart ist, dass ihre Farbe vollständig complementär ist.

Die Prüfung dieser Eigenschaft wäre ziemlich einfach; beide Mittel, hinter einander geschaltet, müssen das ganze Spectrum absorbiren und bei der geringsten Verdünnung beider Lösungen muss das ganze Spectrum sichtbar werden.

Es wird also auch wohl die letztbesprochene Anwendungsart farbiger Mittel in der elektrotechnischen Photometrie keine Verwendung finden und so die Anwendung, mit Ausnahme der Methode der Bestimmung

des Beleuchtungswerthes (Weber) derselben auf einzelne ganz specielle Fälle beschränkt bleiben.

Das Compensations-Photometer.

Es gebührt J. Wybauw das Verdienst, zuerst auf ein Mittel hingewiesen zu haben, welches geeignet erscheint, auch ohne Anwendung farbiger Mittel die hier in Betracht kommenden Uebelstände bedeutend zu verringern. Wybauw schlug nämlich vor, von den beiden Flächen des Photometers, deren Beleuchtung mit einander verglichen wird, die eine wie gewöhnlich direct durch die Strahlen der elektrischen Bogenlampe zu beleuchten, die andere durch einen bekannten, respective berechenbaren Bruchtheil derselben Strahlen, zu welchen dann soviel Licht von der Vergleichslichtquelle hinzugemischt wird, dass die Beleuchtung beider Flächen die gleiche ist.

Richtet man also z. B. die Construction des Photometers so ein, dass die zweite Fläche mit drei Viertel der Helligkeit der ersten durch die Bogenlampe beleuchtet wird, so ist nur noch ein Viertel von Seiten der Vergleichslampe hinzuzumischen, und man vergleicht dann nicht die bläuliche Lichtquelle mit der röthlichen, sondern eine bläulich beleuchtete Fläche mit einer solchen, deren Beleuchtung zu drei Viertheilen von derselben bläulichen Lichtquelle herstammt, zu einem Viertel nur von der röthlichen. Es ist klar, dass diese Mischung in ihrer Färbung dem Lichte der Bogenlampe bei weitem ähnlicher ist, als das Licht der Vergleichslichtquelle, so dass der Farbenunterschied zum grössten Theile

compensirt erscheint und damit die Schwierigkeiten einer derartigen Helligkeitsmessung sehr vermindert werden.

Wybauw wendete seine Idee vornehmlich zur Construction eines Photometers Foucault'scher Art an, indem er durch geeignete Anbringung von Spiegeln den Weg der Strahlen zu der einen zu beleuchtenden Fläche gegenüber dem Wege zu der anderen Fläche passend verlängerte und die Differenz in der Helligkeit beider Flächen dann durch die Strahlen einer Carcel-Lampe beseitigte. Kurz wies er dann auch auf eine ähnliche Construction für das Bunsen'sche Photometer hin, rieth aber selbst von derselben ab, da die mathematischen Beziehungen so complicirt werden, dass sie die praktische Anwendung dieses Photometers sehr erschweren.

Bei beiden von Wybauw angegebenen Constructionen liegen jedoch die beiden mit einander zu vergleichenden Lichtquellen nicht in gerader Linie mit der Mitte des Photometerschirmes, welcher Uebelstand bei den Foucault'schen Photometern bekanntlich stets vorhanden ist.*) Die Folge dieser Anordnung ist, dass der Photometerschirm fest aufgestellt und zur Erzielung gleicher Beleuchtung seiner beiden Flächen die eine der beiden Lichtquellen dem Schirme genähert oder von ihm entfernt werden muss. Bei der elektrischen Bogenlampe erscheint eine derartige Bewegung durchaus unstatthaft, sie ist wegen des Gewichtes derselben schwer

*) Eine Ausnahme hiervon macht eine Modification des Foucault'schen Photometers, welche Verfasser vor einiger Zeit auf Veranlassung des Herrn D. Monnier in Paris construirte; bei derselben wurde durch geeignete Reflexionsspiegel dieser Uebelstand beseitigt.

ausführbar und würde durch die unvermeidlichen Erschütterungen der Lampe eine photometrische Messung sehr erschweren, wenn nicht unmöglich machen. In bedeutend geringerem Maasse gilt dasselbe für die Vergleichslichtquelle, jedoch muss die Bewegung derselben entweder durch einen Assistenten oder mittelst eines besonderen Mechanismus bewerkstelligt werden; ist die Vergleichslichtquelle ein Gasbrenner, so thut man ausserdem am besten, sie fest mit der Gasleitung zu verbinden, da die Verbindung mit Gummischläuchen einen wechselnden und uncontrolirbaren Einfluss auf die Helligkeit des Gasbrenners ausübt.

Aus diesen Gründen verdient diejenige Anordnung einen bedeutenden Vorzug, bei welcher die beiden Lichtquellen und der Photometerschirm sich in einer geraden Linie befinden. In diesem Falle können nämlich beide Lichtquellen fest in constanter Entfernung von einander aufgestellt und der Photometerschirm zwischen ihnen hin- und herbewegt werden.

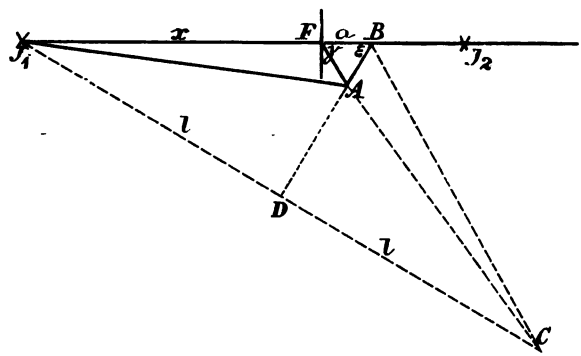
Verfasser construirte nun ein Photometer Bunsen'scher Art, welches der letzteren Bedingung entspricht, und es zeigte sich, dass bei diesem, von ihm Compensations-Photometer genannten, Instrumente die Construction und die mathematischen Beziehungen sich noch einfacher gestalten lassen, als bei den beiden von Wybauw selbst angegebenen Constructionen.

Es seien (Fig. 16) J_1 und J_2 die beiden mit einander zu vergleichenden Lichtquellen, F sei der Photometerschirm und BD ein Spiegel, welcher unter dem Winkel ε gegen die Verbindungslinie $J_1 J_2$ geneigt ist. Der Photometerschirm F empfängt dann einerseits direct

das Licht der Lichtquelle J_1, andererseits auf dem Wege $J_1 AF$ von dem Spiegel BD reflectirtes Licht derselben Lichtquelle, sowie endlich direct die Strahlen der Lichtquelle J_2.

Es sei die Entfernung der Lichtquelle J_1 von dem Photometerschirme $J_1 F = x$, diejenige der Lichtquelle J_2, $J_2 F = z$, die Strecke $FB = a$ und der Winkel des reflectirten Strahles AF gegen die Grade $J_1 J_2 = \gamma$. Die

Fig. 16.



Grösse a ergiebt sich aus der Construction, die Grössen x und z aus jedem Versuche. Es wäre also vorerst γ zu bestimmen.

Der Werth von γ findet sich leicht durch die Hilfsconstruction, zu deren Erklärung genügt, dass $J_1 C \perp BD$ und $J_1 D = DC = l$ sein soll.

Es ist nämlich unter dieser Voraussetzung:

$$l = (x + a) \sin \varepsilon$$

$$2l : x = \sin \gamma : -\cos(\varepsilon + \gamma),$$

woraus sich ableitet

$$\cot \gamma = \frac{2(x + a)\sin^2 \varepsilon - x}{(x + a)\sin 2\varepsilon} \qquad (1)$$

Bezeichnet man ferner die Länge des Weges des reflectirten Strahles $J_1 AF (= CAF)$ mit $(x+b)$, so ist

$$(x+b) = (x+a)\frac{\sin 2\varepsilon}{\sin\gamma} \text{ oder} = x\frac{\cos 2\varepsilon}{-\cos(\varepsilon+\gamma)} \quad (2)$$

Aus der Gleichsetzung beider Ausdrücke für $(x+b)$ würde sich ebenfalls Gleichung (1) ergeben.

Wir können nun zur Betrachtung der Beleuchtung des Photometerschirmes übergehen.

Zu dem Zwecke mögen J_1 und J_2 die Helligkeiten der beiden Lichtquellen J_1 und J_2 bedeuten.

Der Photometerschirm F wird von links beleuchtet sein mit der Helligkeit $\frac{J_1}{x^2}$, von rechts durch die am Spiegel BD reflectirten Strahlen der Lichtquelle J_1 mit der Helligkeit $\frac{J_1\,\alpha\cos\gamma}{(x+b)^2}$, wo $(1-\alpha)$ den Lichtverlust durch Reflexion am Spiegel bedeutet, sowie von Seiten der Lichtquelle J_2 mit der Helligkeit $\frac{J^2}{z^2}$. Ist die beiderseitige Beleuchtung gleich, so besteht die Gleichung

$$\frac{J_1}{x^2} = \frac{J_1\,\alpha\cos\gamma}{(x+b)^2} + \frac{J_2}{z^2}$$

und hieraus ergiebt sich das Verhältniss der Helligkeiten beider Lichtquellen

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{x^2}{z^2}\cdot\frac{(x+b)^2}{(x+b)^2 - x^2\,\alpha\cos\gamma} \quad (3)$$

Durch die Benutzung der Gleichungen (1), (2), (3) wird man einen vollständig exacten Werth für das Verhältniss $\frac{J_1}{J_2}$ erhalten. Es erscheint jedoch für praktische Arbeiten diese Berechnungsweise der Messungsresultate ziemlich

complicirt. Es lässt sich ja allerdings für eine constante Entfernung der beiden Lichtquellen von einander leicht eine Tabelle berechnen, aus welcher für jeden abgelesenen Werth von x das Verhältniss $\frac{J_1}{J_2}$ zu entnehmen ist. Eine nähere Betrachtung der obigen Gleichungen zeigt aber, dass eine bedeutende Vereinfachung derselben möglich ist, wenn man sich zu einigen Vernachlässigungen entschliessen will.

Erwägt man, dass das Compensations-Photometer zu Helligkeitsmessungen sehr starker Lichtquellen dienen soll, dass diese also in beträchtlicher Entfernung von dem Photometerschirm aufgestellt werden, so sieht man, dass die Dimensionen des Apparates im Verhältnisse zu der Entfernung der Bogenlampe als klein angesehen werden können, desgleichen der Unterschied in den Wegen der direct den Photometerschirm treffenden und der am Spiegel BD reflectirten Strahlen.

Vernachlässigt man also a und b gegenüber x, so wird Gleichung (1)

$$\cot\gamma = \frac{2\sin^2\varepsilon - 1}{\sin 2\varepsilon} = -\cot 2\varepsilon$$

$$\gamma = 180^0 - 2\varepsilon \qquad (4)$$

und an die Stellung von Gleichung (3) tritt

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{x^2}{z^2} \cdot \frac{1}{1 - a\cos\gamma} = K \cdot \frac{x^2}{z^2} \qquad (5)$$

Begnügt man sich mit dem Ausdrucke in Gleichung (5) für das Verhältniss der Helligkeiten $\frac{J_1}{J_2}$, so ist die Operation mit dem Compensations-Photometer ausserordentlich einfach. Das bei einem Photometer ge-

wöhnlicher Art einzig in Betracht kommende Verhältniss der Quadrate der Entfernungen $\frac{x^2}{z^2}$ ist hier nur noch mit einer constanten Grösse K zu multipliciren.

Der bei Benutzung der Gleichung (5) anstatt der Gleichung (3) gemachte Fehler ist allerdings gross bei kleinem x, vermindert sich aber bald bei wachsender Entfernung der Lichtquelle J_1.

Die Grösse der Constanten K bestimmt sich aus der Gleichung

$$K = \frac{J_1}{J_2} \cdot \frac{z^2}{x^2}$$

leicht mittelst zweier Lichtquellen, deren Helligkeitsverhältniss vorher auf gewöhnliche Weise vermittelt worden war. Man wird bei diesem Versuche, wenn man von einem kleinen Werthe, von x beginnend, zu grösseren Werthen fortschreitet, leicht erkennen, dass sich K einer Grenze nähert, nämlich demjenigen Werthe, den es für $x = \infty$ hat. In diesem Falle würde γ streng richtig $= 180^0 - 2\varepsilon$ sein, wie auch aus Fig. 5 ohne weiteres ersichtlich ist.

Um übersehen zu können, wie sich die Beleuchtungsverhältnisse des Photometerschirmes gestalten in Bezug auf die Compensirung des Farbenunterschiedes, hat man zu beachten, dass die Beleuchtung der beiden Flächen des Photometerschirmes von Seiten der elektrischen Bogenlampe sich verhalten wie

$$\frac{J_1}{x^2} : \frac{J_1 \alpha \cos\gamma}{(x+b)^2}$$

nach Gleichung 3) oder einfacher nach Gleichung 5) wie

$$1 : \alpha \cos\gamma.$$

Der Werth von α wird je nach dem Reflexionsvermögen des Spiegels schwanken etwa zwischen 0·6 und 0·9, den Winkel γ wird man so klein wie möglich, also ε so gross wie möglich machen, jedoch hierin durch die nothwendige Grösse, welche der Photometerschirm selbst haben muss, beschränkt sein. Folgende Tabelle enthält die Werthe des Productes $\alpha \cos\gamma$ für die entsprechenden Werthe von α und ε:

$\varepsilon =$	60^0	65^0	70^0	75^0
$\alpha = 0{\cdot}6$	0·30	0·38	0·46	0·52
0·7	0·35	0·45	0·54	0·61
0·8	0·40	0·51	0·61	0·69
0·9	0·45	0·58	0·69	0·78

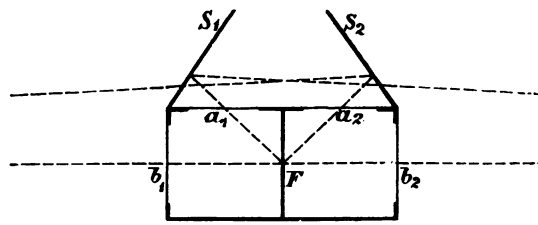
In Wirklichkeit wird der Werth 0·5 nicht weit überschritten werden können. Es erscheint aber sehr wünschenswerth, die Grösse $\alpha \cos\gamma$ grösser als 0·5 zu machen, um die Farbe der Mischung des elektrischen Lichtes und des Vergleichslichtes durch das Uebergewicht des ersteren, der Farbe des Bogenlichtes möglichst zu nähern, sowie überhaupt dieses Mischungsverhältniss beliebig ändern zu können.

Zu solchem Zwecke wird man mit Nutzen die Intensität der direct in der Richtung $J_1 F$ auf den Photometerschirm fallenden Strahlen der elektrischen Bogenlampe schwächen und zwar am zweckmässigsten durch Einschaltung von Dispersionslinsen.

Das Compensations-Photometer hat nun nicht nur den Vortheil, dass der störende Farbenunterschied zwischen der elektrischen Bogenlampe und der Vergleichslicht, quelle sehr vermindert wird, sondern noch den weiteren bereits von Wybauw hervorgehobenen, dass die Ent-

fernung, in welcher die Bogenlampe vom Photometerschirm aufgestellt wird, im Vergleich zur Benutzung eines gewöhnlichen Photometers viel kleiner genommen werden kann. Wenn z. B. die von der Vergleichslichtquelle herzustellende Intensität der Beleuchtung des Photometerschirmes nur ein Viertel der von der Bogenlampe herrührenden zu sein braucht, so wird die Entfernung der Bogenlampe bei gleicher Entfernung der Vergleichslichtquelle und dadurch gleicher Genauigkeit der Ablesung, nur halb so gross zu sein brauchen, als bei Anwendung eines gewöhnlichen Photometers, so dass man

Fig. 17.

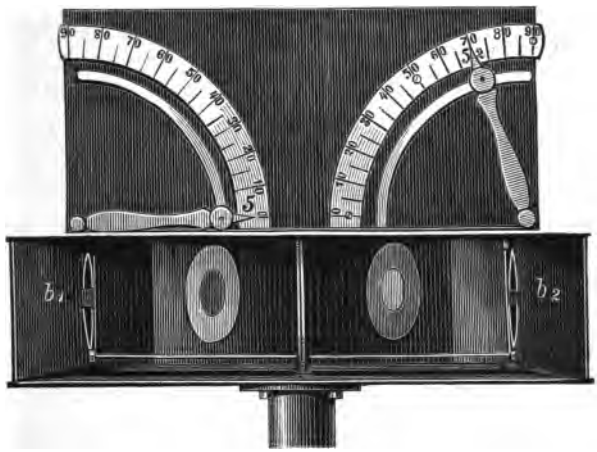


mit dem Compensations-Photometer Räume von verhältnissmässig geringer Ausdehnung benutzen kann, was für die Einrichtung photometrischer Laboratorien von nicht zu unterschätzendem Vortheil ist.

Was speciell die äussere Construction des Compensations-Photometers betrifft, so ist dieselbe direct aus Fig. 16 zu entnehmen. Der Spiegel BD kann vorne oder hinten seitwärts am Photometergehäuse angebracht werden, oder von oben. Fig. 17 zeigt die schematische Darstellung. Fig. 18 die Ansicht eines Compensations-Photometers.

Der Photometerschirm mit dem Fettfleck befindet sich in F, oben auf dem Gehäuse sind zwei Spiegel S_1 und S_2 angebracht, so dass man die Bogenlampe entweder auf der rechten oder auf der linken Seite aufstellen kann. Die Neigung des Spiegels kann an einer Scala abgelesen werden. Durch die Oeffnungen a_1 und a_2 werden die Strahlen der Bogenlampe auf den Photometer-

Fig. 18.



schirm reflectirt. Beide Spiegel können niedergeklappt werden und verdecken dann die Oeffnungen a_1 und a_2.

In die seitlichen Oeffnungen b_1 und b_2 können Dispersionslinsen resp. planparallele Gläser eingesetzt, desgleichen unterhalb der Spiegel S_1 resp. S_2 planparallele Platten eingeschoben werden. Dieses Photometer kann also nach Belieben als gewöhnliches Bunsen'sches oder als Compensations-Photometer benutzt und in Folge dessen auch die Constanten des Apparates mit Leichtigkeit bestimmt werden.

Der Photometerschirm mit dem Fettfleck steht in der üblichen Weise in der Winkelhalbirungslinie zweier gegeneinander geneigter Spiegel, um beide Seiten des Schirmes von vorne betrachten zu können (in Fig. 18 sieht man die beiden Spiegelbilder des Fettfleckes); jedoch lässt sich auch die vom Verfasser angegebene Prismencombination bei dem Compensations-Photometer anwenden, durch welche die Bilder der beiden Seiten des Fettfleckes in einer scharfen Linie aneinanderstossen.

Die Anbringung der Reflexionsspiegel S_1 resp. S_2 oben auf dem Photometer empfiehlt sich deshalb, weil in diesem Falle die Vorderseite des Photometers, von welcher aus der Fettfleck beobachtet wird, ganz frei bleibt, und die Reflexionsspiegel zur gleichzeitigen Beobachtung der beiden Seiten des Fettfleckes an der Hinterseite des Photometers Platz finden. Werden Reflexionsprismen vorne vor dem Photometerschirm angewendet anstatt der Reflexionsspiegel hinter demselben, so lassen sich die Spiegel S_1 resp. S_2 auch an der Hinterseite des Photometers anbringen.

Es lassen sich natürlich bei Anwendung von mehr als einem Spiegel noch andere Anordnungen des Compensations-Photometers herstellen, bei welchen ebenfalls die beiden Lichtquellen mit der Mitte des Photometerschirmes in einer geraden Linie liegen, jedoch sind derartige Constructionen und namentlich die mathematischen Beziehungen für das Intensitätsverhältniss der beiden mit einander zu vergleichenden Lichtquellen naturgemäss bei weitem complicirter als bei dem in Vorstehendem behandelten Instrumente.

Messungen der Lichtquellen unter verschiedenen Ausstrahlungswinkeln.

Eine Kugel von vollkommen gleichmässiger Helligkeit ihrer ganzen Oberfläche strahlt nach allen Richtungen hin dieselbe Lichtmenge aus; bei derselben genügt es demgemäss, ihre Helligkeit in einer einzigen Richtung zu messen, um daraus ein Urtheil über die gesammte Lichtmenge zu gewinnen.

Die gebräuchlichen künstlichen Lichtquellen haben wohl kaum jemals eine vollkommen gleichmässige Lichtausstrahlung in allen Richtungen, es ist im Gegentheil bei allen die Lichtausstrahlung eine sehr ungleichmässige. Es lassen sich nun wohl zwei Lichtquellen desselben Charakters, also zwei Argand-Gasbrenner oder zwei Glühlampen derselben Construction untereinander vergleichen durch Vornahme von nur je einer photometrischen Messung. Die Lichtmengen, welche aber von zwei verschiedenartigen Lichtquellen ausgestrahlt werden, lassen sich nur dann miteinander vergleichen, wenn man bei jeder derselben die Grösse der Lichtausstrahlung in allen Richtungen kennt.

Einen hervorragenden Platz in Bezug auf Ungleichmässigkeit der Lichtausstrahlung nehmen unter den künstlichen Lichtquellen die elektrischen Bogenlampen ein, welche mit Gleichstrom betrieben werden, wie solches meistens der Fall ist; deshalb ersann man für diese auch zuerst besondere Vorrichtungen, um ihre Helligkeit in verschiedenen Ausstrahlungsrichtungen bequem bestimmen zu können.

Das erste Mittel, welches zu diesem Ziele führen kann, ist, das ganze Photometer zu neigen, so dass seine optische Axe mit der Horizontalen denselben Winkel bildet, wie die Strahlen der Lampe, deren Intensität man bestimmen will. Diese Anordnung geben Ayrton und Perry ihrem Photometer, wie Fig. 14 zeigt. Desgleichen erlaubt das Weber'sche Photometer derartige Messungen in dieser Weise auszuführen, indem das Rohr *B* (Fig. 13) direct gegen die Lichtquelle gerichtet werden kann. Hier wird dieses Verfahren dadurch besonders begünstigt, dass die Vergleichslichtquelle, die Benzinkerze, fest stehen bleiben kann.

Bei Benutzung anderer Photometer z. B. des so häufig zu diesen Zwecken angewendeten Bunsen'schen Instrumentes, tritt der Umstand erschwerend auf, dass auch die Vergleichsflamme um den gleichen Winkel wie das Photometer geneigt werden muss, damit die von derselben auf den Photometerschirm zur Wirkung kommenden Strahlen immer dieselben seien. Eine solche Neigung der Vergleichslichtquellen, welche meistens grössere Brenner sind, ist aber fast immer unmöglich. Man könnte ja allerdings die Vertheilung der Helligkeit der Vergleichslichtquelle in den verschiedenen Richtungen der Verticalebene vorher ermitteln, und dann ihre bei den vorliegenden Messungen zum Vergleich benutzte Horizontal-Intensität darnach corrigiren, oder die Strahlen der zu untersuchenden Lichtquelle unter spitzem Winkel auf den Photometerschirm fallen lassen und dann deren Intensität nach dem photometrischen Grundgesetz corrigiren.

Von Hartley wurde zuerst der Vorschlag gemacht,

welcher später von Dibdin in seinem Radial-Photometer benutzt wurde, die Vergleichslichtquelle senkrecht stehen zu lassen, so dass sie und die Mitte des Photometerschirmes in einer Horizontalen liegen, sodann aber den Photometerschirm um seinen Mittelpunkt zu drehen und zwar so, dass der Photometerschirm in der Halbirungslinie des Winkels steht, welchen die zu untersuchenden Strahlen einer Lampe mit der Horizontalen bilden. Auf diese Weise würde der Photometerschirm von den Strahlen beider Lichtquellen nicht senkrecht, jedoch unter gleichem Winkel getroffen werden.

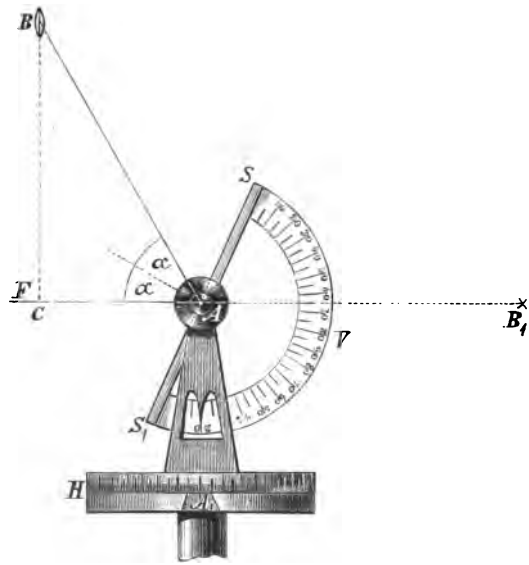
Am bequemsten für die Praxis scheint jedoch der Ausweg, dass man Vergleichslichtquelle und Photometer ruhig in ihrer normalen Lage lässt und einen Spiegel einschaltet, welcher die Aufgabe hat, die von der zu untersuchenden Lichtquelle, z. B. der Bogenlampe, kommenden Strahlen horizontal zu machen.

Die für den allgemeinsten Gebrauch passendste Aufstellung eines solchen Spiegel SS_1 (Fig. 19) ist die, denselben um eine horizontale Axe A messbar drehbar zu machen. Die von der Bogenlampe kommenden Strahlen BA, welche mit der Horizontalen den Winkel 2α bilden, werden von dem Spiegel in der horizontalen Richtung AF auf den Photometerschirm reflectirt. Die Entfernung des Spiegelbildes B vom Photometerschirm ist dann bekanntlich gleich der Summe der Entfernung der Bogenlampe B selbst von dem Punkt, in welchem ihre Strahlen den Spiegel treffen, und dieses Punktes von dem Schirme, also $= BA + AF$.

Der für die Rechnung einfachste Fall ist der, dass die horizontale Axe A des Spiegels, wie in Fig. 19,

senkrecht zur Photometeraxe steht. Dann wird der Winkel 2α der von der Bogenlampe kommenden Strahlen mit der Horizontalen direct an der Theilung V abgelesen und die Entfernung BA findet sich leicht aus dem rechtwinkeligen Dreiecke BCA durch Messung der beiden Katheten BC und CA.

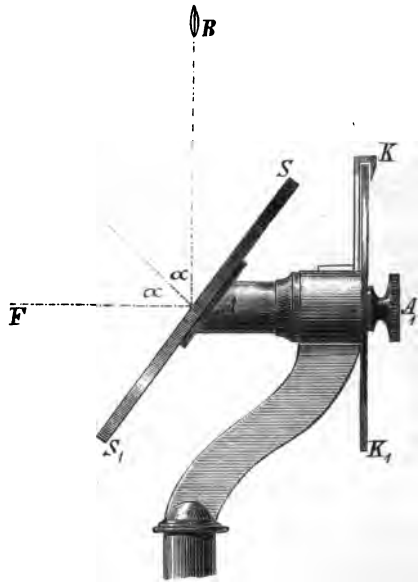
Fig. 19.



Letzteres geschieht am einfachsten dadurch, dass man von der Bogenlampe ein Bandmaass senkrecht herunter hängen lässt. Um die Intensität der Bogenlampe in verschiedenen Richtungen zu messen, hat man entweder dieselben in verschiedene Höhen BC zu bringen oder den Spiegel SS_1 in verschiedene Entfernungen CA.

Hängt jedoch die Bogenlampe nicht senkrecht über der Axe des Photometers, sondern seitwärts von derselben — was nothwendig sein kann, wenn die Lampe nach unten einen undurchsichtigen Fortsatz hat, welcher bei niedrigen Stellungen einen Schatten auf den Photometerschirm wirft — so muss der Spiegel auch um die Verticalaxe A_1, gedreht werden.

Fig. 20.



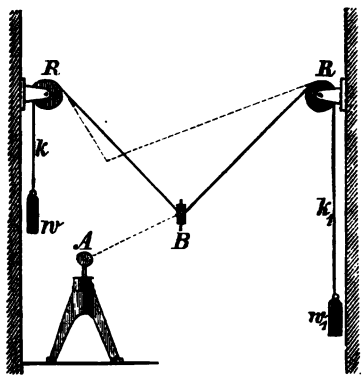
Es sei, um die von dem Spiegel reflectirten Strahlen in horizontaler Richtung AF auf den Photometerschirm zu werfen, eine Drehung des Spiegels um die Axe A_1 um den Winkel v, um die Axe A_1, um den Winkel h nothwendig, so findet man bekanntlich den Winkel 2α aus dem sphärischen Dreieck, dessen Seiten v, h und 2α sind, durch die Gleichung

$$\cos 2\alpha = \cos v . \cos h.$$

Bei der im Obigen beschriebenen Anordnung des Reflexionsspiegels kann die Bogenlampe irgend eine Stellung zum Photometer haben. Eine andere Anordnung ist diejenige, welche Ayrton und Perry zuerst dem Spiegel gegeben haben, welche in der Anwendung einige

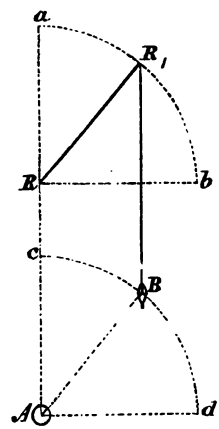
Vereinfachungen in Bezug auf die Berechnung des Resultates bietet, bei welcher jedoch der Ort der Bogenlampe eingeschränkt wird. Wie schon aus Fig. 14 ersichtlich, ist der Spiegel SS_1 (Fig. 20) fest an einer horizontalen Axe AA_1 befestigt, welche sich in der optischen Axe des Photometers befindet und zwar bildet er mit dieser Axe einen Winkel von 45°. Die reflectirten Strahlen AF werden den Spiegel also stets unter einem Winkel von 45° verlassen und, da Einfalls- und Austrittswinkel einander gleich sind, so ist stets $2\alpha = 90^0$. Wird demgemäss der Spiegel SS_1 um die Axe AA_1 gedreht, so bleibt der reflectirte Strahl AF fest, während der einfallende Strahl sich um denselben Winkel wie die Axe AA_1 drehen muss. Es ist klar, dass in der in Fig. 20 gezeichneten Stellung von der Bogenlampe B diejenigen Strahlen zur Wirkung kommen, welche senkrecht nach unten die Lampe verlassen, während bei einer Drehung der Axe AA_1 um 90° aus dieser Stellung die Intensität derjenigen Strahlen gemessen wird, welche in horizontaler Richtung aus der Bogenlampe ausstrahlen. In den Zwischenstellungen kommen Strahlen in allen zwischen 0° und 90° liegenden Richtungen zur Wirkung, ihre Neigung zur Horizontalen kann an einem mit der Axe AA_1 verbundenen Theilkreise KK_1 abgelesen werden.

Fig. 21.



Der in Betracht kommende Reflexionswinkel ist immer 45^0, die Bogenlampe B muss sich stets in einer Ebene befinden, welche die Photometeraxe in dem Punkte A senkrecht schneidet. Der letzten Bedingung ist auf verschiedene Weise zu genügen. In Fig. 21 sei A der in der Zeichenebene liegende Schnittpunkt des Spiegels mit seiner Axe. An der Mauer rechts und links seien die Rollen R und R_1 angebracht, über welche die Schnur oder Kette kBk_1 mit den Gegengewichten w und w_1 läuft. An der Schnur ist die Bogenlampe B angebracht und kann durch Auf- und Niederschieben der Gewichte w und w_1 in verschiedene Stellungen zum Spiegel gebracht werden. Kennt man die Höhe der Rollen R und R_1 über A, sowie die ganze Länge der Schnur kBk_1, so lässt sich leicht die Entfernung BA bestimmen.

Fig. 22.



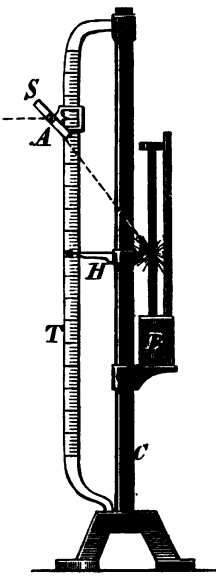
Bedeutend einfacher für die Rechnung ist jedoch folgende Aufhängung der Bogenlampe.

Senkrecht über dem mehrfach definirten Punkte A ist in dem Punkte R ein um die horizontale, der Photometeraxe parallelen, Axe R drehbarer eiserner Arm RR_1 angebracht. An dem Ende R_1 hängt die Bogenlampe B, die Aufhängungskette oder Schnur R_1B ist so lang, dass bei horizontaler Stellung von RR_1 B in einer Horizontalen mit A ist. Wird nun RR_1 um die Axe R gedreht, so beschreibt der Aufhängungspunkt R_1 der Bogenlampe einen Viertelkreis $a\,b$, die Bogenlampe B selbst

einen zweiten Kreis cd und es bleibt demgemäss die Entfernung der Bogenlampe von dem Punkte A constant gleich dem Radius AB des letzteren Kreises, so dass also die Entfernung des Spiegelbildes der Bogenlampe vom Photometerschirm constant bleibt.

Während die letzt beschriebenen Anordnungen vom Reflexionsspiegel und Bogenlampe im Allgemeinen die bequemsten sind, sind natürlich für specielle Fälle auch andere Anordnungen am Platze. So bringt Hefner-Alteneck den Spiegel direct an der Bogenlampe an, Sautter-Lemonnier verbindet beide durch das Stativ Fig. 23. An der Stange C ist ein Tisch mit der Bogenlampe B verschiebbar, die Höhe des leuchtenden Punktes der Bogenlampe B wird durch den Zeiger H bezeichnet und dieser auf den Nullpunkt des Maassstabes T eingestellt. An letzterem ist der, um die horizontale Axe A drehbare Spiegel S verschiebbar und die Theilung selbst so eingerichtet, dass an dem Index des Spiegels direct der Winkel 2α abgelesen werden kann.

Fig. 23.



Bei Benutzung eines Spiegels hat man den Lichtverlust in Betracht zu ziehen, welcher durch Absorption

in der Glasmasse und durch Reflexion entsteht. Durch Vorversuche ist dieser Schwächungscoëfficient zu ermitteln. Von vornherein lässt sich nicht behaupten, dass derselbe für alle Einfallswinkel derselbe sei, theoretische Erwägungen ergeben, dass bei normalem Einfall der Lichtstrahlen der Reflexionsverlust am geringsten sein wird.

Die Resultate, welche praktische Versuche über die Grösse des Schwächungscoëfficienten ergaben, weichen nun sehr von einander ab, was zum Theil vielleicht in der Art der angewendeten Spiegel seinen Grund hat. Die Ermittelung dieses Coëfficienten geschieht sehr einfach dadurch, dass man zuerst an einem gewöhnlichen Photometer die Helligkeit zweier Lichtquellen, etwa zweier guter Petroleumlampen mit einander vergleicht und sodann eine zweite Messung mit Einschaltung des Spiegels macht. Ist im ersten Falle das Helligkeitsverhältniss beider Lichtquellen zu einander gleich $1 : N_1$ gefunden worden, im zweiten gleich $1 : N_2$, so ist $\frac{N_2}{N_1} = a$ der Schwächungscoëfficient des Spiegels, $(1 - a)$ bezeichnet den stattgefundenen Lichtverlust und das Resultat einer mit Einschaltung des Spiegels stattgefundenen Messung ist mit dem Factor $\frac{1}{a}$ zu multipliciren.

Ayrton und Perry geben an, dass bei dem von ihnen benutzten Spiegel unter dem Einfallswinkel von $\alpha = 45^0$ der Lichtverlust $30 - 34\%$ betrage, also $a = 0{\cdot}66 - 0{\cdot}70$ sei.

Sautter, Lemonnier & Comp. benutzten einen versilberten Spiegel und fanden:

Für die Einfallswinkel den Schwächungscoëfficient

$\alpha = 5^0$	$a = 0{\cdot}68$
10^0	$0{\cdot}74$
15^0	$0{\cdot}81$
20^0	$0{\cdot}85$
25^0	$0{\cdot}85$
30^0	$0{\cdot}86$
35^0	$0{\cdot}86$

Die bei Gelegenheit der Münchener Elektricitäts-Ausstellung vom Verfasser und Anderen sehr sorgfältig angestellten Versuche ergaben dagegen für einen Glas-silberspiegel

für $\alpha = 10^0$	$a = 0{\cdot}700$
15^0	$0{\cdot}690$
20^0	$0{\cdot}696$
25^0	$0{\cdot}700$
30^0	$0{\cdot}695$
40^0	$0{\cdot}696$

so dass ohne Ueberschreitung der Beobachtungsfehler die Annahme gemacht werden konnte, dass für alle bei den Beobachtungen vorkommenden Reflexionswinkel der Schwächungscoëfficient 0·70 beträgt, was ausserdem mit Ayrton und Perry's Angaben gut übereinstimmt.

Auch bei der photometrischen Untersuchung der Glühlampen ist im Allgemeinen eine Messung der Helligkeit in verschiedenen Richtungen erforderlich, um ein Bild von der Lichtvertheilung und daraus von der gesammten Lichterzeugung zu gewinnen.

Um die Helligkeit einer Glühlampe in verschiedenen Richtungen der Horizontalebene zu bestimmen, stellt man dieselbe am besten auf einen drehbaren Teller,

dessen Rand mit einer Theilung versehen ist. Man kann dazu gut die in Fig. 19 dargestellte Vorrichtung benutzen, von welcher der Spiegel $S S_1$ entfernt wird. Die Glühlampe wird am passendsten mit der horizontalen Axe A verbunden und kann dann bei Senkrechtstellung um die Axe A_1 gedreht und ausserdem zur Ermittelung der Helligkeit in verschiedenen Richtungen der Verticalebene um die Axe A gedreht werden.

Zum Schlusse dieses Abschnittes muss noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass bei der elektro-technischen Photometrie wegen der grossen Helligkeiten, welche dabei in Betracht kommen, noch mehr als bei der Photometrie in der Gastechnik Bedacht darauf zu nehmen ist, alles falsche Licht von dem Photometer fern zu halten. Es ist das Reflexionsvermögen aller Gegenstände im Photometerraum, namentlich dasjenige der Wände und Decken möglichst zu vermindern, am besten durch Schwarzstreichen derselben. Wo solches nicht thunlich, ist durch geeignete Blendschirme alles Nebenlicht abzuhalten und zwar nicht nur vom Photometerschirm, sondern auch vom Auge des Beobachters, welches unfähig zum Beobachten wird, wenn es durch directe Strahlen von den Lichtquellen getroffen wird. Wie derartige Vorrichtungen einzurichten und anzubringen sind, lässt sich im Allgemeinen nicht bestimmen, da man sich in jedem einzelnen Falle nach den örtlichen Verhältnissen dabei zu richten haben wird.

IV.

Normal- und Vergleichslichtquellen.

Wenn das ganze vorliegende Werk über das Messen von Helligkeiten handelt, so ist vor Allem wichtig, auch das Maass festzustellen, nach welchem gemessen werden soll. Ueberall stösst die Technik auf Schwierigkeiten, wenn es sich darum handelt, die Einheit festzustellen, nach welcher gemessen werden soll, ob es sich nun um Längen- oder Hohlmaasse, um Gewichte, oder ob es sich um das Lichtmaass handelt. Ueberall findet man das Bestreben, möglichst ein durch die Natur gegebenes Maass als Einheit anzunehmen, aber meistens ist es nicht die Natur, deren feste Gesetze das Einheitsmaass vorschreiben, sondern der Zufall.

Die Hauptbedingung, welche an ein Urmaass oder an eine Maasseinheit zu stellen ist, ist immer die, dass es bequem an allen Orten und zu allen Zeiten reproducirbar sei, damit ist auch die Bedingung seiner Constanz ausgesprochen. Aber wohl in keinem Gebiete stösst man bei der Erfüllung dieser Bedingung auf mehr Schwierigkeit, als bei der Feststellung einer Einheit des Lichtes.

Im praktischen Gebrauche als Lichteinheiten sind zur Zeit verschiedene Arten von Kerzen, sowie die Carcel-Lampe, letztere hauptsächlich und fast ausschliesslich in Frankreich.

Die Carcel-Lampe ist eine Modification der im Jahre 1787 von dem Genfer Aîmé Argand construirten Lampe. Dieser ersetzte den bisher angewandten frei brennenden Flachbrenner durch einen runden Docht und

verursachte durch dessen Mitte eine Zuführung frischer Luft durch Anbringung eines Metallschornsteines in gewisser Höhe über der Flamme. An Stelle des letzteren wurde bald ein cylindrisches Glas gesetzt, bei welchem durch Lange in der Höhe der Flamme eine Einschnürung angebracht wurde, um die Luft in nächste Berührung mit der Flamme zu bringen und dadurch eine vollständigere Verbrennung zu erzielen.

Carcel fügte bei seiner im Jahre 1800 angegebenen Lampe eine regelmässige Speisung des Dochtes hinzu. Er verlegte das Oelgefäss in den Fuss der Lampe und brachte das Oel vermittelst eines Uhrwerkes zum Dochte. Mit einigen kleinen Aenderungen wurde hieraus die sogenannte Moderateurlampe, welche als Bec Carcel in Frankreich als Normallichtquelle gilt.

Dumas und Regnault, welche diese Lichteinheit zur Controle der Leistungen der Pariser Gasgesellschaft zuerst benutzten, gaben folgende Vorschriften über die Maasse und Construction des Bec Carcel:

Innerer Durchmesser des Brenners	23·5	Mm.
» » » inneren Luftzuges.	17	»
» » » äusseren » .	45·5	»
Höhe des Cylinders	290	»
» der Einschnürung über dem unteren Rande des Glases	61	»
Innerer Durchmesser des Glases oben. . .	34	»
Aeusserer » » unten . .	47	»
Mittlere Dicke des Glases	2	»

Der Docht soll, von der als Leuchtthurmsdocht bekannten Sorte, aus 75 Strängen gewebt sein und per Decimeter Länge 3·6 Gr. wiegen. Als Brennmaterial soll

reines Colza-Oel angewendet und die Helligkeit der Lampe dann als normal angesehen werden, wenn sie in der Stunde 42 Gr. verbraucht.

Ist der Oelconsum zwischen 40 und 44 Gr., so soll eine proportionale Reducirung der gefundenen Helligkeit erfolgen, ausserhalb dieser Grenzen aber soll die Messung verworfen werden, weil nicht exact angegeben werden kann, wie in solchem Falle die Reduction vorzunehmen ist.

In Deutschland, England, Amerika bedient man sich als Lichteinheit der Normalkerzen; am verbreitetsten ist die englische Wallrathkerze (London Standard Spermaceti Candle) mit 44·5 Mm. Flammenhöhe, welche 120 Grains (= 7·77 Gr.) per Stunde verbrennen soll. In Deutschland hat der Verein von Gas- und Wasserfachmännern das Verdienst, die Einführung einer deutschen Normalkerze angebahnt zu haben, mit deren Herstellung er sich seit dem Jahre 1868 beschäftigt; diese ist eine Paraffinkerze von 20 Mm. Durchmesser und 50 Mm. Flammenhöhe.

Von geringerer Bedeutung sind die ebenfalls zu photometrischen Messungen benützten Bougies de l'Etoile und die Münchener Stearinkerzen.

Wegen der grossen Wichtigkeit der Lichteinheit in der Gastechnik wurden von einer Reihe von Gasfachleuten Untersuchungen über die Constanz der Kerzen und des Carcel-Brenners, sowie über das Verhältniss der einzelnen Normallichtquellen in Bezug auf ihre Helligkeit untereinander angestellt, und es wurde das Verhältniss des Carcel-Brenners zu der englischen Normalkerze von verschiedenen Beobachtern als im Mittel 1 : 9·6 angegeben. Für andere Normalkerzen schwankt dieses Verhältniss zwischen 1 : 7 und 1 : 10.

Die Leuchtkraft einer Kerze oder eines Oelbrenners entspricht nun offenbar recht wenig den Anforderungen, welche man an eine Maasseinheit für physikalische Messungen zu stellen gewohnt ist. Die Leuchtkraft hängt zuvörderst ab von dem verbrannten Material, dessen unveränderliche Zusammensetzung gefordert werden müsste, aber wohl kaum immer erreicht wird. Sie ist ferner abhängig von dem regelmässigen Zutritte von Sauerstoff und dann sowohl von der Temperatur der umgebenden Luft, als auch von dem augenblicklichen Barometerstande, und selbst wenn man die Grössen dieser beiden Factoren bestimmt, also Thermometer und Barometer abliest, so weiss man nicht, wie man sie in Rechnung bringen soll. Endlich kommen noch Unregelmässigkeiten hinzu, die z. B. von der Länge des Dochtes der Kerze abhängen.

Man hat sich von diesen Einflüssen unabhängig zu machen gesucht, indem man einen bestimmten Verbrauch des Leuchtmateriales voraussetzt, so bei der Carcel-Lampe 42 Gr. stündlich. Für die Wallrathkerze lautet die Vorschrift nach »The Metropolitan Gas Act of 1880, Section 25«, dass der Verbrauch einer Kerze per Stunde 120 Grains sein soll, dass er ferner beim Photometriren 126 Grains nicht übersteigen und nicht kleiner als 114 Grains sein soll. Ueberschreitet der Verbrauch diese Grenzen, so ist die Beobachtungsreihe zu verwerfen, hält er sich aber innerhalb derselben, so soll die Lichtstärke proportional dem Verbrauche gerechnet werden.

Es würde hier zu weit führen, wenn wir nachweisen wollten, dass in der Praxis der stündliche Ver-

brauch an Leuchtmaterial durchaus nicht immer ein Kriterium für die erzeugte Helligkeit abgiebt. Jedenfalls wird eine bedeutend grössere Sicherheit für die Constanz der Helligkeit geboten durch Innehalten einer bestimmten Flammenhöhe, über welche man dann auch Normen für den Bec Carcel und die verschiedenen Kerzen festgesetzt hat. Es wird sich im Laufe der folgenden Betrachtungen noch einmal die Gelegenheit bieten, auf diesen Punkt eingehender zurückzukommen.

Untersuchungen des Verfassers zeigten, dass bei der Stearinkerze, deren vorschriftsmässige Flammenhöhe 52 Mm. sein soll, am meisten vorkommen Flammenhöhen zwischen 54 und 56 Mm., eine Flammenhöhe von 52 Mm. kommt weniger als halb so oft vor, dann diejenigen von 54, 55 und 56 Mm.

Bei den Paraffinkerzen sind am häufigsten Flammenhöhen von 52, 53 und 54 Mm. aufgetreten, anstatt der vorgeschriebenen von 50 Mm., und bei den Wallrathkerzen kommen Flammenhöhen von 47 und 48 Mm. bei weitem häufiger vor als die Normalhöhe von 44·5 Mm.

Die vorschriftsmässigen Flammenhöhen kamen innerhalb 240 Minuten bei den Stearinkerzen nur während 15 Minuten, bei den Paraffinkerzen während 17 Minuten, bei den Wallrathkerzen während 27 Minuten vor. Aber selbst wenn man bei allen Kerzen eine in dieser Beziehung günstigere Flammenhöhe wählen würde, müsste man, wenn man das Putzen des Dochtes vollkommen ausschliesst, meistens sehr lange auf das Eintreffen derselben warten; am besten wäre man hierbei noch mit der Wallrathkerze daran, da hier die Flammen-

höhe von 48 Mm. häufiger eintritt als irgend eine Flammenhöhe bei den anderen Kerzenarten.

Die mitgetheilten Zahlen lassen gleichzeitig einen Schluss auf die Constanz oder vielmehr Inconstanz der Flammenhöhe zu.

Einiges Interesse dürfte ferner noch folgende Zusammenstellung einiger Beobachtungsresultate des Verfassers über die Flammenhöhen der Kerzen mit denjenigen anderer Beobachter haben.

Mittlere Flammenhöhen:

	Rüdorff	Schiele	Kerzen-Commission	Krüss
Stearinkerzen . .	ca. 56·0	50·3	60·8	54·0
Paraffinkerzen. .	» 50·0	50·0	51·2	53·1
Wallrathkerzen .	» 52·2	52·0	—	47·7

Schwankungen in der Flammenhöhe:

	Rüdorff	Schiele	Kerzen-Commission	Krüss
Stearinkerzen . .	5%	8%	35%	20%
Paraffinkerzen . .	8	20	35	30
Wallrathkerzen . .	7	17	—	17

Diese Zahlen zeigen durchaus gar keine Uebereinstimmung und überzeugen dadurch ebenfalls gewiss Jeden von der absoluten Nothwendigkeit, nur bei einer ganz bestimmten Flammenhöhe eine Kerze zum Photometriren zu benutzen; diese normale Flammenhöhe lässt sich aber nur durch Putzen des Dochtes erreichen.

Die mittleren Schwankungen in der Helligkeit waren bei

	Flammenhöhe 44·5 Mm.			Normale Flammenhöhe
	Krüss	Rüdorff	Buhe	Krüss
Stearinkerzen .	5·6%	1·4%	1·0%	5·4%
Paraffinkerzen.	4·3	5·0	2·7	7·7
Wallrathkerzen	3·0	2·3	3·4	3·0

Die Zahlen zeigen, dass die Untersuchungen des Verfassers in Uebereinstimmung mit Rüdorff's Resultaten eine geringere Constanz in der Helligkeit bei den Paraffinkerzen ergaben als bei den anderen beiden untersuchten Sorten und dass die Wallrathkerzen sich in dieser Beziehung als die besten herausgestellt haben.

Jedenfalls aber zeigen auch vorstehende Zahlen, dass die mehrfach aufgestellte Behauptung, die Helligkeit einer Kerze schwanke um 40%, falsch ist; dieses kann sich höchstens bei ungeputzten Kerzen so verhalten, eine gut behandelte geputzte Kerze schwankt in ihrer Helligkeit bedeutend weniger und die englische Wallrathkerze dürfte nach der nunmehr von verschiedenen Beobachtern fast übereinstimmend festgestellten Grösse ihrer Schwankung in dieser Beziehung dem Carcel-Brenner nicht nachstehen, dem von seinen Freunden ein Schwanken von 2—3% nachgesagt wird.

Es erübrigt nun noch, die für die absolute Helligkeit der Kerzen erlangten Werthe zusammenzustellen.

Nimmt man die Helligkeit der Stearinkerzen = 100 an, so ist

	Flammenhöhe 44·5 Mm.			Normale Flammenhöhe	
	Rüdorff	Buhe	Krüss	Schilling	Krüss
Stearinkerzen .	100	100	100	100	100
Paraffinkerzen .	107·9	106·4	106·0	88·7	97·6
Wallrathkerzen	108·7	108·7	104·5	90·7	85·8

Besondere Beobachtungen über die Schwankungen in der Helligkeit von frei brennenden, nicht durch Putzen auf eine bestimmte Flammenhöhe gebrachten Kerzen hat Verfasser nicht angestellt, da kein vernünftiger Beobachter dieselben als Normallichtquelle heute

noch verwenden wird. Im Uebrigen zeigen dessen bei den drei verschiedenen Flammenhöhen vorgenommene Bestimmungen, dass die Intensitätsschwankungen sehr gross sind, wenn die Flammenhöhe sich ändert; schon zwischen 44·5 und 52 Mm. Flammenhöhe betragen sie bei den Stearinkerzen 19, bei den Paraffinkerzen 13% im Mittel, so dass es wohl denkbar ist, dass bei einer ungeputzten Kerze Helligkeitsschwankungen von 40% vorkommen mögen.

Sobald Normalkerzen als Lichteinheit zu photometrischen Messungen angewendet werden, erscheint es also unbedingt nothwendig, eine möglichst genaue und scharfe Methode zur Messung der Flammenhöhe anzuwenden.

Das directe Messen der Flammenhöhe einer Kerze bietet nun einige Unzuträglichkeiten. Diese haben einerseits ihren Grund in der erforderlichen Nähe des Beobachters an die Flamme, andererseits in der Berührung des Kerzenrandes durch die üblichen zirkelförmigen Flammenmaasse. Durch beide Ursachen wird das normale Brennen der Kerze gestört; durch die erste Ursache in Folge der durch den Beobachter hervorgerufenen Wärmeausstrahlung und Luftbewegung, durch die zweite Ursache in Folge der Abkühlung des Brennmateriales durch die Metallspitze, durch Herabfliessen des geschmolzenen Materiales u. s. f.

Verfasser hat deshalb vorgeschlagen, die Höhe der Kerzenflammen nicht direct zu messen, sondern die Messung an dem optischen Bilde der Flamme vorzunehmen. Diese Methode, welche auch L. Weber benutzte, ist nicht nur frei von den angeführten Uebelständen,

sondern hat sich auch als sehr genau und nebenbei als recht bequem bewiesen.

Das optische Flammenmaass ist in Fig. 24 dargestellt. An dem Vorderende des Rohres *A* befindet sich das achromatische Objectiv *B*, an dem hinteren Ende desselben eine Glasscheibe *C* mit einer Millimeter-Eintheilung. Die Entfernung des Hauptpunktes *H* des

Fig. 24.

Objectives von der matten Glasscheibe ist gleich der doppelten Brennweite des Objectives. Das ganze Rohr *A* ist mittelst des Triebknopfes *a* in der Hülse *D*, die Glasplatte mit der Theilung mittelst des Triebknopfes *b* in verticaler Richtung verschiebbar. Endlich kann der ganze Apparat durch den Triebknopf *c* in der Höhe verstellt werden.

Das Arbeiten mit dem Apparate ist nun sehr einfach. Derselbe wird in solcher Entfernung von der Kerze aufgestellt, dass die Strecke von der Kerze bis zum Objectiv ungefähr gleich dem Abstande des letzteren von der matten Scheibe ist. Sodann wird durch den Triebknopf *c* ungefähr die richtige Höhe angegeben und hierauf mittelst des Triebknopfes *a* das Bild der Flamme *F* auf der Glasscheibe scharf eingestellt.

Ist diese scharfe Einstellung erreicht, so ist die Entfernung der Flamme *F* von dem Hauptpunkte *H* des Objectes genau gleich der Entfernung dieses Hauptpunktes von der matten Glasscheibe *C* und in Folge dessen ist das Bild der Flamme genau eben so gross, wie die Flamme selbst. Ein Millimeter der Theilung auf der matten Glasplatte entspricht also genau einem Millimeter der Flamme selbst.

Die Theilung ist 100 Mm. lang; wenn sie ihre höchste Stellung hat, befindet sich der 50-Strich genau in der Axe des Objectives; man regulirt also mittelst des Triebknopfes *c* die Höhe des ganzen Apparates so, dass das Flammenbild symmetrisch zu diesem 50-Strich ist, dann befinden sich die Flamme und ihr Bild symmetrisch zur optischen Axe des Objectives. Nun kann man mittelst des Triebknopfes *b* die Theilung so weit verschieben, dass der Nullstrich gerade das Bild der bläulichen Wurzel der Flamme berührt, dann liest man an dem Bilde ihrer Spitze direct ihre Höhe ab.

Brennt die Kerze herunter, so dass der Nullstrich nicht mehr mit dem Anfange der Flamme zusammentrifft, so darf man nicht mittelst des Triebknopfes *b* die Theilung verschieben, sondern muss mittelst des Trieb-

knopfes *c* die ganze Höhe des Apparates ändern und so der herunterbrennenden Kerze folgen, damit das Bild der Flamme symmetrisch zur optischen Axe des Apparates bleibe. Allzu ängstlich braucht man natürlich mit der Symmetrie des Bildes zur Axe nicht zu sein, die dem Apparate gegebene Form gestattet nur, eine allzu excentrische Lage zu verhüten, bei welcher wegen der Eigenschaften der optischen Bilder nicht mehr vollkommene Gleichheit zwischen Flamme und Bild auftreten könnte.

Bei allen Normalkerzen ist ein bestimmter stündlicher Verbrauch an Material beim Brennen vorgeschrieben. Es soll dieser Materialverbrauch wohl nur zur Charakteristik der betreffenden Kerze dienen, denn offenbar ist er abhängig nicht nur von der Beschaffenheit des Kerzenmateriales, sondern auch von derjenigen des Dochtes und dem Durchmesser, eine constante Temperatur des Beobachtungsraumes von 14—15° R. vorausgesetzt. Eine Abweichung in jedem dieser drei Elemente würde eine Veränderung des stündlichen Consums der Kerze nach sich ziehen, so dass eine Bestimmung dieses Consums wohl einen Anhalt zur Beurtheilung der Gleichmässigkeit des Fabrikates geben kann.

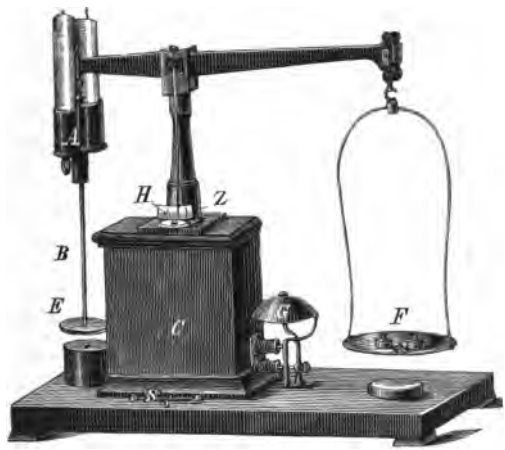
Zur Bestimmung des Materialverbrauches ist natürlich jede feinere Waage zu benutzen, jedoch sind auch besondere Vorrichtungen im Gebrauche, welche ein gleichzeitiges Photometriren und Bestimmen des Materialverbrauches gestatten.

Eine derartige Einrichtung findet sich in dem Photometer von Dumas und Regnault bei der Waage, mittelst deren der Consum der Carcel-Lampe bestimmt

wird; ähnlich ist die Einrichtung einer vom Verfasser construirten Kerzenwaage.

Die Waage ist eine ungleicharmige, die Längen der beiden Arme stehen im Verhältnisse 1 : 2 zu einander. An dem kürzeren Arme werden die Kerzen angebracht, was zur Folge hat, dass die Bewegung der Kerzen in senkrechter Richtung eine kleine wird, so dass die von

Fig. 24.



ihnen auf den Photometerschirm fallenden Strahlen denselben stets nahezu senkrecht treffen, wenn sie einmal richtig aufgestellt wurden. Der Kerzenträger A kann zwei Kerzen aufnehmen und ist in der Höhe in weiten Grenzen an der Stange B verschiebbar.

In dem Holzkasten C befindet sich das Element, welches als Stromquelle dient. Von den Polen desselben wird der Strom einerseits um den Elektromagneten einer Glocke G und von dort weiter in die Säule der Waage

und den Zeiger Z geführt, andererseits in einen kleinen Hebel H, welcher in zwei Stellungen gebracht werden kann. In der einen Stellung lässt er den Zeiger der Waage passiren, so dass sie frei schwingen kann, in der anderen wird er von der mit Platin versehenen Spitze des Zeigers gerade in der Stellung der Gleichgewichtslage der Waage berührt, so dass die Leitung vollständig geschlossen ist und ein Glockensignal ertönt. Bei S sieht man noch einen Hauptausschalter, welcher dazu dient, den Strom vollständig zu unterbrechen, wenn die Waage nicht benutzt wird, damit das Element nicht unnöthig erschöpft werde, da der Hebel H in solchem Falle benutzt werden kann, um die Waage selbst zu arretiren. Auch bietet die Benutzung des Ausschalters S den Vortheil, dass man während der Versuche den Strom unterbrechen kann, ohne die Waage zu beunruhigen.

Als Stromquelle hat der Verfasser das von C. H. Wolff construirte Trockenelement benutzt. Dasselbe ist vom Typus der Leclanché-Elemente und zeichnet sich dadurch aus, dass es bei intermittirendem Gebrauch, wie in vorliegendem Falle, eine sehr lange Dauer hat. Wie die Untersuchungen von Voller zeigen, besitzt es nämlich die Eigenschaft, sich in der Ruhe durch sehr vollständige Depolarisirung in hohem Grade zu regeneriren, so dass nach den bis jetzt vorliegenden Erfahrungen zu erwarten sein wird, dass das Element bei der Benutzung zu einer Kerzenwaage Jahre lang seinen Dienst verrichten wird, ohne irgend einer Nachfüllung zu bedürfen. Ist es sodann erschöpft, so lässt es sich regeneriren mit Hilfe eines grösseren Bunsen-Elementes und erlangt dadurch die elektromotorische Kraft wieder,

welche es am Anfange besass. Zu diesem Zwecke kann man die Hinterwand des Kastens *C* entfernen und dadurch die Polklemmen des Elementes freilegen.

Bei der Benutzung der Wage schaltet man zuerst den Hauptcontact *S* ein, während *H* noch offen bleibt, und bringt durch Auflegen von Gewichten auf die Schale *F* die Waage ins Gleichgewicht. Hierauf zündet man die Kerzen an und legt auf die kleine, unter dem Kerzenhalter angebrachte Schale *E* ein kleines Zusatzgewicht, so dass der Zeiger *Z* einen kleinen Ausschlag nach rechts macht. Nun schlägt man den Hebel *H* vor, so dass er in den Weg des Zeigers *Z* tritt und im Moment der Berührung beider miteinander wird, da nunmehr der Stromkreis geschlossen ist, die Glocke *G* zu läuten beginnen. Von diesem Momente an beginnt der photometrische Versuch. Man legt, nachdem das Signal der Glocke gegeben ist, ein bestimmtes Gewicht auf die kleine Schale *E*, dessen Grösse abhängt von dem Zeitraum, über welchen man den Versuch auszudehnen beabsichtigt. Der Contact zwischen *Z* und *H* wird dadurch aufgehoben und erst in demselben Augenblicke wieder hergestellt, in welchem sich das Gewicht der Kerzen um genau so viel verringert hat, als man auf die Schale *E* gelegt hatte. Da in diesem Falle eine Berührung der an dem Waagearm hängenden Kerzen durch ein Flammenmaass absolut unzulässig ist, so ist für den Fall, dass man gleichzeitig die Flammenhöhe constatiren will, die Benützung des optischen Flammenmaasses zu empfehlen.

Es muss hier jedoch noch Folgendes hervorgehoben werden. Keinesfalls ist das Vorschreiben eines bestimmten stündlichen Materialverbrauches so aufzufassen,

dass beim Photometriren dieser Verbrauch eingehalten werden müsse. Von einem solchen regelmässigen Consum kann doch gewiss nur die Rede sein bei freiem ungestörten Brennen der Kerze, bei ihrer Benutzung zum Photometriren muss sie aber geputzt werden und in diesem Falle wird der Consum vollständig beeinflusst werden durch die Art des Putzens, d. h. er wird veränderlich sein, je nachdem der Docht jedes Mal mehr oder weniger gekürzt wurde. Man ist ferner ja auch längst davon zurückgekommen, bei nicht vorschriftmässigem Materialverbrauch die Helligkeit der benutzten Kerze auf irgend eine Weise zu corrigiren und gewiss hat Rüdorff vollkommen Recht mit der Ansicht, dass beim Photometriren die Grösse des Consums vollkommen gleichgiltig ist, wenn nur die vorgeschriebene Flammenhöhe eingehalten wird.

Rüdorff hat zuerst darauf aufmerksam gemacht dass man durch Bestimmung des Schmelz- oder des Erstarrungspunktes ein schätzbares Kriterium besitze, um die Beschaffenheit des Kerzenmaterials zu controliren, da selbst kleine Zusätze diese Temperatur erheblich verändern.

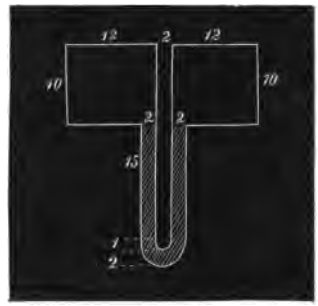
Rüdorff und Verfasser fanden für die üblichsten Normalkerzen folgende Schmelzpunkte, die von letzterem mit dem von C. H. Wolff angegebenen sehr genauen Schmelzpunkts-Bestimmungs-Apparate ermittelt worden sind:

	Rüdorff	Verfasser
Münchener Stearinkerze zwischen	55°3 u. 56°6 C.	54°0 C.
Deutsche Vereins - Paraffinkerze zwischen	49° „ 54° „	53°75 „
Engl. Wallrathkerze zwischen .	43°5 „ 44°3 „	43°7 „

Im Jahre 1878 machte Louis Schwendler in Calcutta einen theoretisch vorzüglichen Vorschlag zur Gewinnung einer constanten Lichteinheit und nahm dabei eine Methode wieder auf, welche bereits 1847 von J. W. Draper und 1859 von Zöllner angedeutet worden war. Schwendler stellte die Maasseinheit für Lichtmessungen dar durch die Wärmewirkung eines constanten galvanischen Stromes, der einen Leiter von gegebenem Maasse und bestimmten Dimensionen durchfliesst.

Als Material zu diesem Leiter benutzte Schwendler reines Platin, da dieses in Berührung mit Sauerstoff keine Veränderung erfährt, sehr rein zu erhalten und sein Schmelzpunkt hoch genug ist, um ein intensives Licht zu bekommen.

Fig. 26.



Die Schwendler'schen Platineinheiten sind aus 0·017 Mm. dickem Platinblech geschnitten.

Es sind breite Ansätze daran gelassen, damit der Contact an einer grossen Fläche hergestellt und so der Uebergangswiderstand ein sehr geringer wird (Fig. 26). Schwendler hat nachgewiesen, dass die Helligkeit, mit welcher ein solches Platinblech glüht, wenn ein constanter elektrischer Strom hindurchgeht, äusserst constant ist.

Wenn man sich also über bestimmte Dimensionen und bestimmtes Gewicht des Platins, sowie über die Stärke des constanten Stromes einigt, so würde man eine

Maasseinheit für Lichtmessungen besitzen, welche überall in derselben Grösse hergestellt werden kann und Gewähr für fast absolute Constanz bietet, so lange der Strom constant erhalten wird. Ist die Stärke des Stromes eine andere als vorgeschrieben, so lässt sich dieses, wie Schwendler gezeigt hat, auch in Rechnung ziehen.

Diese Lichteinheit erfüllt demgemäss alle Forderungen, welche die Wissenschaft an sie zu stellen berechtigt ist. Trotzdem hat sie in der Praxis keinen Eingang zu finden vermocht. Hinderlich daran war die umständliche Manipulation, welche mit der Erzeugung, Controlirung (und eventuell Reduction) des galvanischen Stromes verbunden ist, sowie der Umstand, dass das Platin keine constante Molecularstructur und infolge dessen kein constantes Emissionsvermögen bewahrt und dass man ferner stets sehr exact dieselbe Temperatur einhalten muss, da eine kleine Temperaturerhöhung eine grosse Lichtvermehrung hervorbringt.

Nach den obigen Darlegungen war das Bedürfniss nach einer den Anforderungen von Wissenschaft und Praxis entsprechenden Lichteinheit durchaus nicht befriedigt, als im Jahre 1881 bei Gelegenheit der ersten internationalen Elektricitätsausstellung in Paris dortselbst ein ebenfalls internationaler Congress von Elektrikern zusammentrat, dessen dritte Section sich vorzugsweise mit der Frage der Photometrie des elektrischen Lichtes zu beschäftigen hatte.

Es musste bei diesen Verhandlungen die Frage, welche Einheit den Lichtmessungen zu Grunde zu legen sei, im Vordergrunde des Interesses stehen. Bei der Voraussicht, dass das elektrische Licht sicher berufen sein

würde, in weitem Umfange in den Wettkampf mit den bisherigen Beleuchtungsmitteln, namentlich mit der Gasbeleuchtung einzutreten, war es klar, dass die Entscheidung zwischen der neuen Lichtquelle und den bisher gebräuchlichen nur gefällt werden konnte auf Grund einer genauen Kenntniss einerseits der aufzuwendenden Kosten, anderseits der dafür empfangenen Leistung. Diese Leistung stellt sich aber als eine Quantität Licht dar, deren sichere Bestimmung vornehmlich abhängig ist von der sicheren Definition der Einheit, nach welcher gerechnet, mit welcher verglichen werden soll.

Zu den bisher bereits aufgestellten Forderungen einer möglichst constanten und möglichst sicher allerorts reproducirbaren Lichteinheit gesellten sich bei der Bestimmung der Helligkeit des elektrischen Lichtes noch weitere Anforderungen. Zuerst hat man bei dem elektrischen Bogenlicht bekanntlich bedeutend grössere Helligkeiten zu bestimmen, als bisher in der Gastechnik. Die Folge hievon ist, dass bei Benutzung der bisherigen verhältnissmässig schwachen Lichteinheiten die Messungsresultate nothwendigerweise ungenau ausfallen müssen, falls man nicht die zu messende Bogenlampe in sehr grosser Entfernung vom Photometerschirm aufstellen kann, was in einem photometrischen Laboratorium meist Schwierigkeiten bereiten wird.

Ein zweiter, schwerwiegender Umstand ist der, dass die bisherigen Lichteinheiten von anderer Farbe sind als das elektrische Bogenlicht. Letzteres ist bedeutend reicher an stärker brechbaren Strahlen als das Kerzen- und Oellicht, wie solches schon in einem früheren Abschnitte erörtert worden ist.

Es lag also das unzweifelhafte Bedürfniss vor, zur Messung der Helligkeit des elektrischen Bogenlichtes eine Lichteinheit zu besitzen, welche nicht nur in Bezug auf ihre Helligkeit sondern auch auf ihre Farbe dem Bogenlichte näher komme als die bisherigen Lichteinheiten. Es muss hier vorausgreifend constatirt werden, dass wir auch heute noch der Erfüllung dieses Bedürfnisses leider kaum näher gerückt sind als vor dem Pariser Elektriker-Congress des Jahres 1881.

Im Verlaufe der ausgedehnten Verhandlungen jenes Congresses über die zu wählende Lichteinheit fand sich für die Kerze fast kein Vertheidiger, wenn auch Werner Siemens meinte, eine gut behandelte Kerze schwanke in ihrer Helligkeit nur um 5%. Tschikolew und Béde empfahlen als das beste die Schwendler'sche Platineinheit, gegen welche Crova die bereits oben erwähnten Uebelstände geltend machte.

Violle empfahl als Einheit die Lichtmenge, welche ein Quadrat-Centimeter Platin bei seiner Schmelztemperatur ausstrahle, Werner Siemens und Cornu bestätigten die theoretischen Vorzüge dieses Vorschlages, letzterer hielt aber das Silber geeigneter zu diesem Zwecke. William Siemens endlich befürwortete als Lichteinheit einen Iridiumdraht, durchflossen von der Einheit des Stromes.

Die Vorschläge von Neujean und Flamache, das Drummond'sche Kalklicht oder das Magnesiumlicht zur Vergleichung heranzuziehen, fanden begreiflicher Weise nur kühle Aufnahme.

Die wärmste Fürsprache fand die Carcel-Lampe von Seiten der französischen Mitglieder des Congresses: Bergé, Allard und Crova; dieselbe soll nur um 2 bis 3%

ihrer Intensität schwanken. In Ermanglung einer besseren Einheit wurde diese Lichtquelle von der Majorität der Section angenommen als Einheit für die mit den elektrischen Lampen in der Pariser Ausstellung vorzunehmenden photometrischen Messungen, zumal da Schoolbred mittheilte, dass in England wohl nach Kerzen gerechnet, aber meist mit Lampen gemessen werde. Gegen diesen Beschluss betonte J. B. Dumas, dass die Carcel-Lampe zu wenig intensiv sei, um direct das Licht einer elektrischen Lampe damit zu vergleichen.

Die Bearbeitung der Frage nach der Lichteinheit wurde übrigens mit den Fragen nach den elektrischen Maasseinheiten auf Crova's Vorschlag einer internationalen Commission überwiesen; diese ist nach Jahresfrist (am 15. October 1882) in Paris zum ersten Male zusammengetreten, ohne damals schon eine Uebereinkunft zu erzielen.

Einen ganz neuen Weg zur Gewinnung einer constanten Normallichtquelle hat Giroud im Jahre 1882 betreten, indem er das Leuchtgas als Material zur Herstellung der Lichteinheit benutzte.

Die absolute Grösse der Lichteinheit, insofern sie sich in der Praxis dienlichen Grenzen hält, ist ziemlich gleichgiltig. Da aber nach Giroud's Ansicht der Carcel-Brenner in letzterer Zeit am meisten in Anwendung gekommen ist, so schloss er seine Lichteinheit an den Carcel-Brenner an. Seine constante Einheit ist ein Einloch-Gasbrenner mit einem Loch von 1 Mm. Durchmesser und einer solchen Flammenhöhe, dass sein Leuchtwerth gleich ein Zehntel Carcel-Brenner ist.

Die Veränderungen in der Helligkeit einer Gasflamme werden stets begleitet durch entsprechende Ver-

änderungen der Grösse ihrer Oberfläche. Diese zu messen ist unmöglich, benutzt man jedoch eine Flamme von möglichst geringem Querschnitt im Verhältniss zu ihrer Länge, so kann man ohne merklichen Fehler die Veränderungen der Grösse ihrer Oberfläche proportional der Flammenhöhe setzen und die Messung der letzteren bereitet bekanntlich durchaus keine Schwierigkeiten. Durch diese Betrachtung wird man auf die Benutzung eines Einloch-Brenners geführt. Bekanntlich wird schon jetzt fast immer, wenn man photometrische Messungen von längerer Dauer zu machen hat, die Kerze ersetzt durch einen Einloch-Gasbrenner, dessen Flammenhöhe so regulirt wird, dass seine Helligkeit gleich derjenigen der Kerze ist, und man nimmt an, dass durch Constanterhalten der Flammenhöhe dieses Einloch-Brenners auch seine Helligkeit dieselbe bleibt. Wie sehr man zu dieser Annahme berechtigt ist, zeigen die Versuche von Giroud.

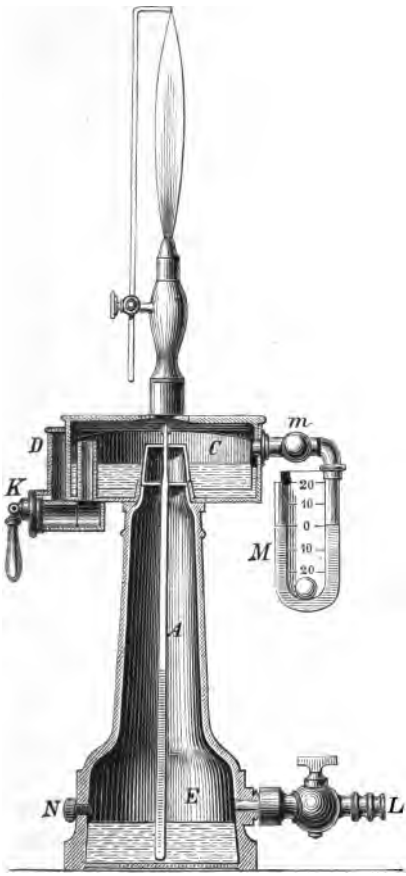
Um auf längere Zeit die Flammenhöhe eines Gasbrenners constant zu erhalten, muss man das verbrauchte Gasvolumen constant erhalten. Giroud benutzt zu diesem Zwecke sein Photo-Rheometer.

Fig. 27 giebt in ein Drittel natürlicher Grösse einen Verticaldurchschnitt des Instrumentes.

Der Gasstrom, welcher bei L in den Raum E eintritt, steigt durch eine ringförmige Oeffnung, welche der oben conische Theil der Röhre A bildet, unter die aus leichtem Kupferblech hergestellte Glocke C, mit welcher die Röhre A fest verbunden ist. Die Glocke C und der untere Theil der Röhre A sind mittelst Glycerin abgeschlossen und schwimmen in dieser Flüssigkeit. Die Glocke C ist an ihrer oberen Fläche mit einem kleinen

Loche versehen, durch welches das Gas dem Brenner zuströmt. In diesem Loche stellt sich eine Geschwindigkeit des Gasstromes her, welche unabhängig von derjenigen des zugeleiteten Gases ist. Man kann in Folge dessen auf das Rheometer irgend einen Brenner setzen, oder auch gar keinen, ohne dass der Consum des Rheometers dadurch beeinflusst wird, weil der Verbrauch von einer constanten Oeffnung abhängt und von einem Druck an dieser Oeffnung, welcher weder von dem Druck oberhalb noch von dem unterhalb der Glocke abhängig ist, sondern von dem Unterschied dieser beiden Drucke und dieser ist constant.

Fig. 27.



Diese Differenz ist gleich der Kraft, welche das Gewicht der Glocke C und der Röhre A im Gleichgewicht erhält. Da dieses Gewicht constant ist, so kann die beregte Differenz sich nicht ändern und die Aus-

strömungsgeschwindigkeit, welche Folge dieses Druckes ist, bleibt ebenfalls constant.

Bevor wir den Druck ermitteln, welcher sich in der kleinen Oeffnung der Glocke G herstellt, muss erwähnt werden, dass der innere Durchmesser des Rohres A genau gleich demjenigen der Fläche ist, in welcher der verjüngte Theil des Rohres A sich an die Glocke C anschliesst.

In dem Raume E übt das Gas auf die Röhre A keinen bewegenden Einfluss aus, da es von allen Seiten gleichmässig auf A drückt. Wenn der Druck sich in dem Raume E ändert, so wird nur das Glycerin mehr oder weniger hoch in die Röhre A treten.

Unter der Glocke C wirkt der Gasdruck P gegen die Oberfläche S der Glocke mit Ausnahme der kleinen Fläche s, an welcher der conische Theil der Röhre A befestigt ist, und diese Fläche ist durch Construction gleich dem inneren Durchschnitt der Röhre A. Es entsteht hier demgemäss eine von unten nach oben wirkende Kraft von der Grösse $PS - Ps = P(S - s)$.

Oberhalb der Glocke C wird durch den Brenner ein Gegendruck P' hervorgerufen, welcher mehr oder weniger von dem Widerstande an der Oeffnung des Brenners beim Ausfluss des aus dem Rheometer kommenden Gases abhängt. Dieser Gegendruck pflanzt sich durch die Glocke C auf die Röhre A bis zur Glycerinsäule in dieser Röhre fort und bewirkt, dass die Oberfläche S der Glocke C einem nach unten gerichteten Drucke ausgesetzt ist, mit Ausnahme der Fläche s, welche dem Durchmesser der Glycerinsäule in dem Rohre A entspricht.

Ausserdem wirkt nun von oben nach unten das Gewicht der Glocke C mit dem Rohre A; ist dieses gleich π, so wird der Gleichgewichtszustand ausgedrückt durch die Gleichung

$$P(S-s)=P'(S-s)+\pi$$

oder

$$P-P'=\frac{\pi}{S-s}$$

Der Ausdruck $\frac{\pi}{S-s}$ enthält nur constante Grössen, so dass der Ueberdruck $P-P'$ ebenfalls constant und in Folge dessen auch die Geschwindigkeit des durch diesen Druck getriebenen Gasstromes oder der Consum des Rheometers constant ist.

Wird der Ueberdruck momentan stärker, so hebt sich die Glocke C, das conische Ventil der Röhre A schliesst die Oeffnung mehr ab, es strömt weniger Gas zu und es tritt erst dann wieder Gleichgewicht ein, wenn die normale Druckdifferenz wieder hergestellt ist. Bei diesem sich selbstthätig erhaltenden Gleichgewichtszustand ist das Ausströmungsquantum eine Function der Weite der Ausströmungsöffnung in der Glocke C, bei constantem Querschnitt dieser Oeffnung also auch constant, so lange ein und dasselbe Gas benützt wird.

Um den für verschiedene Brenner verschiedenen Consum beliebig einstellen zu können, ist ein Umgangsrohr mit dem seitlichen Regulirhahn K angebracht, durch welches das Gas von dem Innern der Glocke in den oberen Theil des Gehäuses gelangt, ohne die Oeffnung in der Glocke selbst zu passiren. Man erreicht dadurch

dasselbe, als wenn man diese Oeffnung entsprechend erweitert hätte.

Der auf das Rheometer geschraubte Brenner ist ein Speckstein-Brenner mit einem Loch von 1 Mm. Durchmesser.

Wenden wir uns nun zu den von Giroud angestellten Versuchen über die Brauchbarkeit des Einloch-Brenners von constanter Flammenhöhe als absolute Einheit des Lichtes. Giroud wählte für die Flammenhöhe die Länge von 67·5 Mm.; bei einer Lochöffnung von 1 Mm. entspricht die Helligkeit derjenigen von ein Zehntel Carcel-Brenner.

An jedes Ende des Maassstabes eines Bunsen'schen Photometers wurde ein Einloch-Brenner von 1 Mm. Lochweite gestellt und beide Brenner durch dasselbe Gas gespeist.

Die Flammenhöhe des Brenners A wurde = 67·5 Mm. gemacht und constant erhalten, diejenige des zweiten Brenners B dagegen von 45 Mm. allmälig von 5 zu 5 Mm. vergrössert bis zu 120 Mm. und bei jeder Länge die Helligkeit von B mit derjenigen von A verglichen. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche.

Flammenhöhe von B	Helligkeit von B, wenn diejenige von $A = 1$ ist	Berechnete Helligkeit
45 Mm.	0·50	0·505
50 »	0·61	0·615
55 »	0·70	0·725
60 »	0·80	0·835
65 »	0·91	0·945
67·5 »	1·00	1·000

Flammenhöhe von B	Helligkeit von B, wenn diejenige von $A = 1$ ist	Berechnete Helligkeit
70 Mm.	1·04	1·055
75 »	1·14	1·165
80 »	1·22	1·275
85 »	1·35	1·385
90 »	1·47	1·495
95 »	1·59	1·605
100 »	1·74	1·715
105 »	1·80	1·825
110 »	1·92	1·935
115 »	2·03	2·045
120 »	2·15	2·155

Bei einer Veränderung der Flammenhöhe um 75 Mm. ist die Helligkeit des Brenners B von 0·5 auf 2·15 gestiegen. Hieraus folgt eine durchschnittliche Veränderung der Helligkeit von 0·022 per Millimeter Flammenhöhe. Nach diesem Durchschnittswerthe sind die Zahlen der dritten Colonne der vorstehenden Tabelle berechnet. Vergleicht man diese Zahlen mit den beobachteten Werthen in der zweiten Colonne, so sind die Abweichungen beider von einander gering genug, dass man zwischen den in den Versuchen innegehaltenen Grenzen von 45 und 120 Mm. Flammenhöhe ein constantes Verhältniss zwischen Helligkeit und Flammenhöhe annehmen kann, zumal wenn man die Unsicherheit der beobachteten Werthe in Folge der Beobachtungsfehler berücksichtigt.

Man wird also, wenn man die Helligkeit der Flamme eines 1 Mm. weiten Einlochgasbrenners von 67·5 Mm. Höhe als Einheit annimmt, durch einfaches Messen der

Flammenhöhe und Benutzung des Factors 0·022 pro Millimeter Differenz gegen 67·5 Mm. die Helligkeit eines Einlochgasbrenners von derselben Oeffnung und anderer Flammenhöhe bestimmen können.

Es muss natürlich zugegeben werden, dass auch die Breite der Flamme während der beschriebenen Versuche Veränderungen erlitten hat; dieselben sind aber im Vergleich zu der ganzen Flammenlänge und deren Veränderungen so gering, dass sie vernachlässigt werden können.

Um die von Giroud vorgeschlagene Lichteinheit zu reproduciren, ist es von erheblicher Wichtigkeit, zu wissen, mit welcher Genauigkeit die Grösse der Oeffnung des Einlochbrenners getroffen werden muss, um die richtige Helligkeit bei der Flammenhöhe von 67·5 Mm. zu erhalten.

Giroud verglich nun die Helligkeit zweier Einlochbrenner miteinander und fand, dass 40 L. Gas, welche ein Rheometer lieferte, in einem Brenner von 1 Mm. Lochöffnung etwa 15% weniger Licht gab als in einem 1·5 Mm. weiten Brenner, was eine mittlere Veränderung der Helligkeit von 3% für $^1/_{10}$ Mm. Veränderung in der Brenneröffnung ergiebt.

Dieser Einfluss des Durchmessers des Loches auf die Helligkeit war übrigens vorauszusehen, wenn man bedenkt, dass offenbar ein grösserer Druck nothwendig ist, um 40 L. in der Stunde durch eine Oeffnung von 1 Mm. Durchmesser passiren zu lassen, als durch eine solche von 1·5 Mm. Durchmesser.

Bei der Herstellung eines Normal-Einlochbrenners muss demgemäss grosse Aufmerksamkeit auf den Durch-

messer der Brenneröffnung gerichtet werden. Doch muss man der Meinung Giroud's beistimmen, dass diese Oeffnung durch irgend ein Verfahren bis auf $^1/_{20}$ Mm. genau bestimmt und so die aus der Brenneröffnung erwachsende Abweichung von der normalen Helligkeit bis auf die zu vernachlässigende Grösse von 1% gebracht werden könne.

Den Einfluss, welchen die verschiedene Zusammensetzung des verbrannten Gases auf die Helligkeit der Flamme eines Einlochbrenners ausübt, untersuchte Giroud ebenfalls und fand das sehr wichtige Resultat, dass die Helligkeit der Flamme eines Einlochbrenners auch bei etwas veränderter chemischer Zusammensetzung des Gases (Mischung mit Luft) constant bleibt, sobald nur die Flammenhöhe constant erhalten wird.

Die Frage, wie sich Flammenhöhe und Helligkeit des Einlochbrenners bei Veränderung der Dichtigkeit des Gases verhält, glaubt Giroud schon durch die Versuche mit dem luftgemischten Gase gelöst zu haben. Auch in diesem Falle ward durch Beimischung von 3% atmosphärischer Luft das specifische Gewicht des Gemisches ein anderes als dasjenige des reinen Gases und auch das verbrauchte Volumen hatte sich verändert. Trotzdem war die Helligkeit dieselbe geblieben, sobald die ursprüngliche Flammenhöhe hergestellt war.

Deshalb schliesst Giroud, dass, welches auch der Ursprung der Veränderungen der Dichtigkeit des Gases sei, die Wirkung auf die Helligkeit der 67·5 Mm. hohen Flamme eines Einlochbrenners von 1 Mm. Lochöffnung immer vernichtet wird durch eine entsprechende Veränderung in dem verbrauchten Volumen.

Auf Grund der Resultate der oben mitgetheilten Versuche schlug nun Giroud als Einheit des Lichtes vor, den bereits beschriebenen, mit einem Rheometer verbundenen Einlochgasbrenner von 1 Mm. Lochweite und 67·5 Mm. Flammenhöhe. Seine Helligkeit ist gleich $^1/_{10}$ Carcel-Brenner oder fast so gross wie diejenigen einer Kerze, weshalb Giroud ihn als Kerzenbrenner bezeichnet.

Man hat bei der Benutzung dieses Brenners nur auf die Herstellung der vorgeschriebenen Flammenhöhe zu achten. Ist das Gas schlecht, so verbraucht man mehr, ist es gut, so wird weniger verbraucht. Mit dem wirklich verbrauchten Volumen hat man sich überhaupt nicht zu beschäftigen, ebensowenig mit dem specifischen Gewicht des verbrannten Gases. Ist der Durchmesser des Loches im Brenner 1 Mm., ist seine Flammenhöhe 67·5 Mm., so ist die Helligkeit stets dieselbe und bei kleinen Abweichungen von diesen Normalgrössen lassen sich die Abweichungen von der normalen Helligkeit mit Hilfe der von Giroud ermittelten Correctionen berechnen.

Was endlich den in Vorstehendem nicht erörterten Einfluss des Luftdruckes und der Temperatur auf die Helligkeit der Einlochgasflamme anbetrifft, so hat Giroud im 2. Theil seines »Traité de la pression« nachgewiesen, dass der Einfluss dieser beiden Elemente auf das vom Rheometer abgegebene Volumen zu vernachlässigen ist, wenigstens so lange man nur mit den gewöhnlichen Schwankungen des Luftdruckes zu rechnen hat und innerhalb Temperaturen von 15 bis 25° Celsius bleibt. —

Wegen der uncontrolirbaren Beschaffenheit des Leuchtmateriales bei den Kerzen und der Thatsache.

dass selbst das Material der besten, der englischen Wallrathkerzen, nicht immer dasselbe ist, wurde von mehreren Seiten die Anwendung eines Normalgases oder Oeles zur Herstellung der Lichteinheit empfohlen. Als hervorragendste Vorschläge in dieser Richtung sind die von Harcourt und Hefner-Alteneck zu nennen.

Harcourt schlug als Einheit für die Photometrie vor, das Licht einer Mischung von 7 Volumen Pentangas und 20 Volumen Luft, welches aus einer $^1/_4$ englischen Zoll weiten Mündung ausströmt, bei einem stündlichen Verbrauch von $^1/_2$ Kubikfuss, wobei die Flamme eine Höhe von $2^5/_{16}$ Zoll hat, unter den normalen Verhältnissen von 60^0 F. und 30 Zoll Luftdruck. Die Helligkeit eines solchen Pentangasbrenners ist derjenigen der englischen Normalkerze gleich und soll sich äusserst constant erhalten, in Folge dessen scheint die Harcourt'sche Pentaneinheit in England Aufnahme zu finden. Das Pentan wird durch Destillation bei einer Temperatur von 50^0 C. aus amerikanischem Petroleum gewonnen. Als für den praktischen Gebrauch von wesentlichem Werth ist anzuführen, dass selbst bei einer nicht ganz normalen Zusammensetzung des Gases die Intensität der Flamme die gleiche bleibt, wenn nur die Flammenhöhe normal gehalten wird. Es sind also die Eigenschaften, welche Giroud durch seine ausführlichen Untersuchungen in Bezug auf die Abhängigkeit der Helligkeit von der Flammenhöhe für das gewöhnliche Leuchtgas feststellte, auch auf andere gasförmige Kohlenwasserstoffe anzuwenden, ja sogar auf Oele und Kerzen, für welche im Obigen bereits gezeigt wurde, dass nur bei constanter Flammenhöhe auf constante Helligkeit zu rechnen ist.

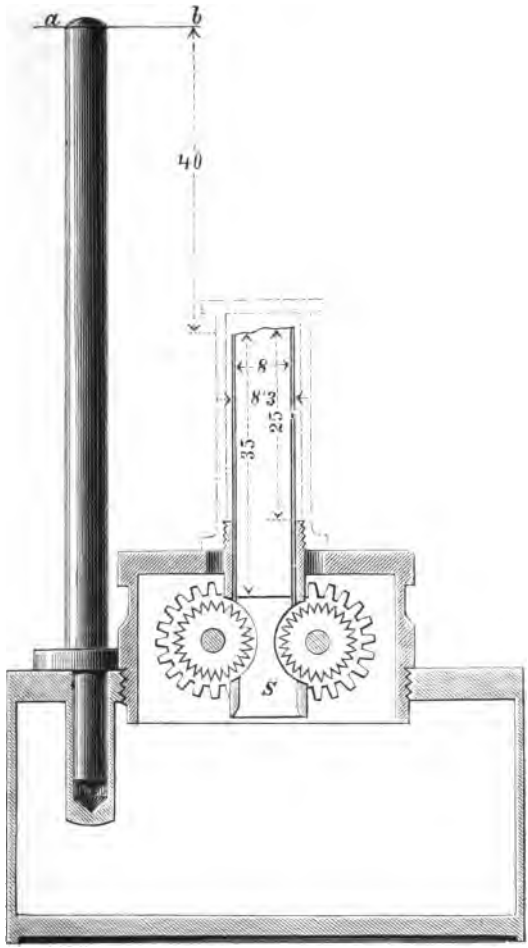
Infolge dessen fand auch Hefner-Alteneck bei seinen Versuchen, welche er zuerst, wie vor ihm schon Eitner und Weber, mit Benzin, dann mit anderen Substanzen als Leuchtmaterial anstellte, dass in der Einstellung der Flamme auf gleiche Brennhöhe, wie sie bei einer mit scharfer Spitze brennenden Flamme gut ausführbar ist, eine Correctur enthalten ist in Bezug auf die Constanz der Leuchtkraft und gegenüber äusseren Einflüssen, welche sonst die Leuchtkraft verändern würden.

Als Lichteinheit schlägt Hefner-Alteneck vor, die Leuchtkraft einer frei brennenden Flamme, welche aus dem Querschnitte eines massiven, mit Amylacetat gesättigten Dochtes aufsteigt, der ein kreisrundes Dochtröhrchen aus Neusilber von 8 Mm. innerem, 8·3 Mm. äusserem Durchmesser und 25 Mm. freistehender Länge vollkommen ausgefüllt, bei einer Flammenhöhe von 40 Mm. vom Rande des Dochtröhrchens aus und wenigstens 10 Minuten nach dem Anzünden gemessen.

Eine Lampe, nach dieser Vorschrift hergestellt, ist in der beigedruckten Fig. 28 im Verticalschnitt originalgross abgebildet.

Die Flammenhöhe ist bezeichnet durch die Visirlinie über die beiden Kanten *a* und *b*. Sie wird eingestellt, indem man durch die Flammenspitze hindurch nach den von der Flamme hell beschienenen Kanten *a* und *b* visirt und durch Drehen der ränderirten Scheibe *S* die Flammenhöhe so regulirt, dass die Spitze des hellen Kernes der Flamme, welche etwa $^1/_2$ Mm. unter der äussersten Spitze eines nur halbleuchtenden, den Kern umgebenden Saumes auftritt, von unten her die

Fig. 28.



Visirscheibe berührt. Die beiden der Flamme zugekehrten Kanten *a* und *b* werden blank gehalten.

Der Docht ist aus groben, weichen Baumwollfäden hergestellt und hat hinsichtlich seiner inneren Beschaffenheit nur den Bedingungen zu entsprechen, dass er das Dochtröhrchen ganz und sicher ausfüllt und dass er den Brennstoff im Ueberschuss über die verbrennende Menge emporzusaugen im Stande ist. Aus diesem Grunde darf er nicht zu stark in das Dochtröhrchen eingepresst sein. Es lassen diese Bedingungen einen ziemlich weiten Spielraum, innerhalb dessen die Beschaffenheit des Dochtes ganz gleichgiltig ist, zu. Man braucht in diesem Punkt darum nicht übermässig ängstlich zu sein, weil ein Versehen oder Fehler darin sich in einem Auf- und Abgehen der Flammenspitze anzeigt, also leicht erkannt und vermieden werden kann. — Man stellt den Docht am einfachsten her aus einzelnen Fäden, am besten von sogenannten Lunten oder Dochtgarnen, einem groben, sehr weichen Baumwollenvorgespinnst oder auch aus einer entsprechenden Anzahl gewöhnlicher dicker Baumwollfäden. — Die einzelnen Fäden werden ohne weitere Verflechtung oder Umstrickung zu einem Strange parallel zusammengelegt, bis zu einem Gesammtdurchmesser, welcher sich noch leicht bis zu dem Durchmesser des Dochtröhrchens (8 Mm.) zusammendrücken lässt. Umstrickte, in der richtigen Stärke von vorneherein hergestellte Dochte kann man aber, wo solche zu bekommen sind, der grösseren Bequemlichkeit wegen ebenfalls verwenden. Dieselben folgen etwas sicherer der Drehung der gezahnten Rädchen beim Einreguliren der Dochtstellung.

Das horizontal ebene Abschneiden des Dochtes bewerkstelligt man am besten bei feuchtem Zustande des-

selben mittelst einer scharfen gebogenen Scheere, indem man den Docht etwas in die Höhe schraubt, die einzelnen Fäden ein wenig ausbreitet und sie einzeln so lange zuschneidet, bis nach wiederholtem Zurückziehen in die Ebene der Rohrmündung die Enden sämmtlicher Fäden eine mit derselben zusammenfallende Ebene bilden.

Die Menge des in der Lampe enthaltenen Brennstoffes ist gleichgiltig, so lange nur der Docht mit allen seinen Fäden noch gut in dieselbe eintaucht.

Das Dochtröhrchen ist aus Neusilberblech hergestellt und bloss in die Lampe gut passend eingesteckt, so dass man es sowohl herumdrehen als auch auswechseln kann für den Fall einer Beschädigung. Beim Einsetzen desselben ist nur zu beachten, dass es fest unten auf dem betreffenden Aufsatz aufsteht, weil sonst das Flammenmaass unrichtig zeigen würde. Von Zeit zu Zeit ist das Dochtröhrchen von einem sich darauf absetzenden braunen, dickflüssigen Rückstande zu reinigen, was am besten geht, wenn das Röhrchen noch heiss ist. Weil kein Glascylinder mit kräftigem Luftstrome vorhanden ist, wie bei anderen Lampen, so hat die Flamme naturgemäss nur eine geringe Steifigkeit.

Die Leuchtkraft der Flamme ist selbstredend nur dann die normale, wenn die vorgeschriebene Flammenhöhe vorhanden ist. Um diese aber dauernd erzielen zu können, muss die Lampe in an und für sich vollkommen ruhig stehender Luft brennen.

Es ist auch zu bemerken, dass sich Bewegungen in der umgebenden Luft früher durch ein periodisches Auf- und Abgehen der Flammenspitze, als wie durch ein seitliches Ausbiegen der Flamme erkennbar machen.

Für genaueste Einstellung der Flammenhöhe soll die Lampe nicht nur absolut zugfrei, sondern auch vor jeder Erschütterung geschützt aufgestellt sein. Selbst die in einem Gebäude vorkommenden Erschütterungen zeigen sich an der Flamme durch ein geringes Auf- und Abtanzen der Spitze. Man wird anfänglich einige Schwierigkeiten darin finden, die Flamme ruhig und mit nicht auf- und abgehender Spitze zum Brennen zu bringen, und es sind deshalb die oben angeführten Vorschriften besonders sorgfältig zu beachten.

Die Luftlöcher (*m n*), welche zu beiden Seiten des Dochtröhrchens angebracht sind, dürfen nicht verstopft sein.

Die Temperatur der umgebenden Luft ist nur von Einfluss auf die Dochtstellung und zwar in dem Sinne, dass eine höhere Lufttemperatur eine tiefere Stellung des Dochtes bei der gleichen Flammenhöhe bedingt.

Auf die Leuchtkraft der Flamme ist die Verschiedenheit der Dochtstellung, bei welcher die constante Flammenhöhe eintritt, ohne bemerkbaren Einfluss.

Inwieweit der Luftdruck (Barometerstand) die Leuchtkraft beeinflusst, ist noch nicht festgestellt. Von sehr beträchtlichem Einflusse darauf ist aber der Grad der Reinheit der Luft und es soll der Beobachtungsraum womöglich nach jeder Messung frisch gelüftet werden. Die Normallampenflamme verhält sich aller Wahrscheinlichkeit darin nicht anders, als jedes durch Verbrennung erzeugte Licht.

Die Grösse der oben definirten Lichteinheit, verglichen mit einer bisher bestehenden, ist gleich der mittleren Leuchtkraft einer englischen Spermaceti-Normal-

kerze, d. h. bei einer Flammenhöhe derselben von etwa 44 Mm., welche von der Stelle, wo der Kerzendocht schwarz zu werden beginnt, bis zur höchsten Flammenspitze zu messen ist.

Hefner-Alteneck hat nun eine grössere Anzahl meist ätherartiger Substanzen auf ihre Brauchbarkeit zur Erzeugung einer Normalflamme untersucht und hat schliesslich Amylacetat (Essigsäure-Amyläther) als besonders geeignet gefunden und empfohlen. Diese Flüssigkeit ist wasserhell, sie besitzt einen angenehmen, sehr intensiven Geruch nach Bergamottebirnen. Sie ist leicht rein darzustellen, wird im Grossen fabriksmässig erzeugt und als sogenanntes Birnöl oder Birnäther zu Parfumeriezwecken und für Conditorwaaren verwendet. Dieser Birnäther besitzt einen constanten Siedepunkt von 138° C., ist also von den Nachtheilen frei, welche Gasolin, Ligroin u. a. besitzen. Der Preis dieser Flüssigkeit ist ebenfalls mässig, 1 Kg. chemisch reiner Aether kostet M. 6, so dass auch nach dieser Seite der Anwendung kein Hinderniss entgegensteht.

Die Constanz dieser Lichtquelle ist eine ganz vorzügliche, die Schwankungen zweier solcher Lämpchen gegen einander waren so gering, dass sie mit dem Auge nicht erkannt werden konnte. Hefner-Alteneck schätzt sie auf etwa 1 Procent. Geringe Abweichungen in den Dimensionen der Lampe übten keinen Einfluss auf die Helligkeit aus, so dass diese Lichteinheit leicht reproducirbar ist.

Wir kommen nun zu den Festsetzungen der im Frühjahre 1884 in Paris versammelt gewesenen Conferenz

von Elektrikern. Im Laufe der Verhandlungen wurden von Seite des Engländers Preece vorgeschlagen, als Lichteinheit zu wählen die Lichtmenge, welche der Kohlenfaden einer Swan-Lampe ausstrahlt, wenn er bei 1 Ohm Widerstand durchflossen wird von 1 Ampère. Preece hat schon früher die Anwendung von Glühlampen als Vergleichslichtquellen empfohlen; er dachte sich dieselben nach Normalkerzen geaicht, so dass man später durch einfaches Ablesen der Stromstärke auf die ausgestrahlte Helligkeit schliessen könne. Dieser Vorschlag, welcher übrigens später von Edison wiederholt wurde, ist offenbar unpraktisch, da eine Glühlampe keine constante Lichtquelle ist, die Glaswände der Lampe erblinden beim Gebrauch und der Kohlenfaden erleidet bedeutende Veränderungen. Auch Siemens' Vorschlag der Hefner-Alteneck'schen Normallampe fand trotz seiner Vorzüglichkeit keine Majorität, dagegen wurde als »praktische Einheit des weissen Lichtes die Lichtmenge, welche in normaler Richtung von einem Quadratcentimeter der Oberfläche von geschmolzenem Platin bei der Erstarrungstemperatur ausgegeben wird« angenommen.

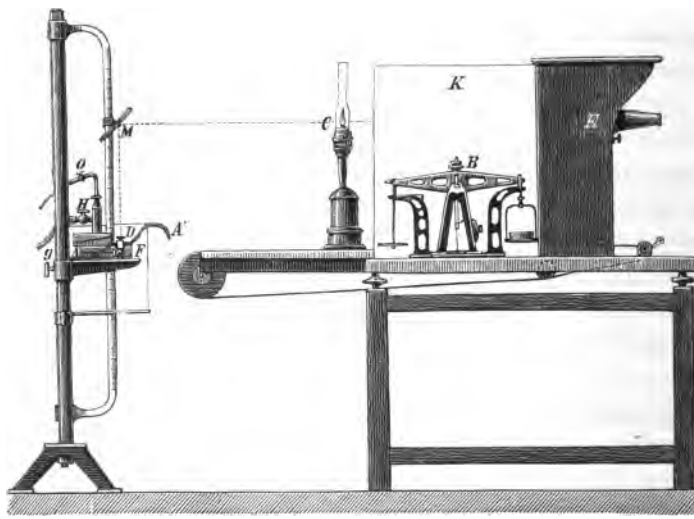
Dieser Beschluss beruhte auf dem bereits während des Congresses der Elektriker im Jahre 1881 gemachten Vorschlage von Violle. Derselbe hatte eine Reihe von Arbeiten über specifische Wärme und Schmelzpunkt verschiedener sehr schwer schmelzbarer Metalle, wie Silber, Gold, Palladium, Platin, Iridium, sowie über das Strahlungsvermögen derselben in geschmolzenem Zustande gemacht. Die letzteren, sehr sorgfältigen Untersuchungen machte er mit Hilfe des Gouy'schen und des Trannin'schen

Spectrophotometers und erstreckte dieselben in Bezug auf das Platin über Temperaturen von 775 bis 1775 Grad, dem Schmelzpunkte des Platins. Um diese Temperaturen herzustellen, bedient man sich am besten des sogenannten Deville'schen Platinschmelzofens, um eine der Definition entsprechende Lichtmenge von erstarrendem Platin zu erhalten. Dieser Schmelzofen besteht aus einem Kalkblock, in welchem sich eine Wanne zur Aufnahme des geschmolzenen Platin befindet, der Deckel der Wanne ist durchbohrt und lässt ein mit Leuchtgas und Sauerstoff gespeistes Löthrohr durch, dessen Flamme direct auf das Metall trifft. Um das Platin zu schmelzen, wird das Sauerstoffgebläse erst langsam in Betrieb gesetzt, alsdann steigert man den Gasdruck und bald wird die Hitze so intensiv, dass das Platin flüssig wird, was bekanntlich bei einer Temperatur von 1775° C. der Fall ist. Ist alles Platin geschmolzen, so besitzt die flüssige Masse eine weit höhere Temperatur, als dem Schmelzpunkt (1775° C.) entspricht; man bringt alsdann das flüssige Metall hinter oder unter einen doppelwandigen Schirm mit einer Oeffnung von bestimmtem Querschnitt, durch welche das Licht hindurchfallen kann. Als besonderen Vorzug führt Violle an, dass die Helligkeit an allen Punkten der Oberfläche des geschmolzenen Metalles gleich sei, dass man deshalb durch Vergrösserung oder Verkleinerung der Oeffnung leicht beliebige Lichtintensitäten erzeugen könne. Damit die Dimensionen der Oeffnung sich nicht während des Versuches in Folge der starken Wärmestrahlung ändern, ist der Schirm (aus Platin oder Kupfer) doppelwandig und wird durch einen Strom kalten Wassers gekühlt.

Die durch die Oeffnung in dem Diaphragma gehenden Lichtstrahlen werden auf den Photometerschirm geworfen.

Die Fig. 29 zeigt den Apparat nach der Construction von Deleuil in Paris für die Vergleichung der Carcel-Lampe, welche auf einem Schlitten vor dem Schirm *E* des Foucault'schen Photometers bewegt werden kann.

Fig. 29.



Die von den beiden Lichtquellen kommenden Strahlen sind durch den Schirm *K* getrennt. *B* ist die Lampenwaage, wie sie für die photometrischen Messungen in Paris gebräuchlich ist, um den normalen Consum der Carcel-Lampe, 42 Gr. reines Rüböl pro Stunde, zu constatiren. Der Apparat für die Herstellung der Platin-Lichteinheit befindet sich auf der linken Seite. *F* ist der Deville'sche Schmelzofen, dessen Deckel von der Vorderseite zurück-

geschoben ist, um die Oberfläche des geschmolzenen Metalles frei zu machen. *D* ist das mit Wasser gekühlte Diaphragma, *A* und A_1 der Wasser-Zu- und Abfluss. Das Löthrohr ist mit dem Sauerstoff-Gasometer *O* und dem Behälter für Leuchtgas durch die Leitungen *O* und *H* verbunden. Der ganze Schmelzapparat ruht auf einem Tischchen, das vertical bewegt und mittelst der Schraube *g* festgestellt werden kann. *M* ist der Spiegel, welcher die von dem Diaphragma durchgelassenen Strahlen nach dem Schirm des Photometers reflectirt.

Gestattet die Art der zu vergleichenden Lichtquelle, z. B. ein Glühlämpchen, jede beliebige Aufstellung, so bringt man am zweckmässigsten die Photometerscheibe direct vertical über der Platinwanne an, ist dies, wie gewöhnlich, nicht angänglich, so müssen die vom Metallbade ausgehenden Lichtstrahlen durch einen Spiegel oder durch ein Prisma horizontal abgelenkt werden, wie es die vorstehende Figur zeigt. Der Absorptionscoëfficient des Spiegels oder des Prisma muss in diesem Fall selbstverständlich in Rechnung gezogen werden.

Ist diese erste Einstellung erfolgt und fallen die Lichtstrahlen beider zu vergleichender Lichtquellen auf den Schirm des Photometers (in der Zeichnung ein Foucault'sches Photometer und eine Carcel-Lampe), so stellt man, je nach der Art des Photometers, durch Verschieben des Schirmes oder der einen Lichtquelle gleiche Beleuchtung her. Diese Gleichheit erhält sich jedoch nicht lange, denn das geschmolzene Metall kühlt sich ab und die Lichtstrahlung nimmt sehr rasch ab. Die Intensitätscurve fällt zunächst steil ab, verflacht sich allmälig, wenn sich die Temperatur des Metalls dem

Erstarrungspunkt nähert und verläuft so lange horizontal, bis die geschmolzene Masse erstarrt ist; nachdem dieses eingetreten ist, nimmt die Temperatur und die Lichtstrahlung abermals rasch ab, bis die vollständige Erkaltung eingetreten. Die Messung muss während der Periode der constanten Temperatur und Lichtstrahlung vorgenommen werden.

Nach der Ansicht von Violle bietet es keine Schwierigkeiten, den richtigen Moment für die Messung zu erkennen, da man durch Beobachtung und Verschiebung des Photometerschirmes leicht den Moment erkennen kann, wo der Beharrungszustand eingetreten ist, zumal da das Ende des ersteren von einem Aufleuchten begleitet ist.

Die photometrischen Vergleiche, welche Violle mit seinem Apparat vorgenommen hat, beschränken sich hauptsächlich auf die Carcel-Lampe und zwar auf das Exemplar Nr. 1 des Centralbureaus der Stadt Paris, welches Le Blanc, der Vorsitzende dieser Station, der auch an den Versuchen theilgenommen, zur Verfügung stellte. Bei diesen Versuchen betrug die Oberfläche des Metallbades 3·96 Qu.-Cm., die Entfernung desselben von dem Photometerschirm 3204 Mm., die Carcel-Lampe, welche pro Stunde 43·4 Gr. Oel verbrauchte, musste, um gleiche Beleuchtung des Schirmes herzustellen, bei 5 Versuchen in einer Entfernung von 1252 — 1238 — 1252 — 1241 — 1248 Mm., im Mittel also 1246 Mm. aufgestellt werden. Die Correction für die Spiegelung des Platinlichtes betrug 1·204. Hiernach ist die Lichtstärke der Carcel-Lampe C ausgedrückt in Platineinheit.

$$C = \frac{(1246)^2}{(3204)^2} \times \frac{3{\cdot}96}{1{\cdot}204} = \frac{1}{2{\cdot}08} = 0{\cdot}481$$

Auf dieser Grundlage giebt Violle folgende Zusammenstellung über die Beziehungen der gebräuchlichen Lichtmaasse.

	Platineinheit	Carcel	Französische Stearinkerze	Deutsche Vereinskerze	Englische Kerze
Platineinheit	1	2·08	16·1	16·4	18·5
Carcel . .	0·481	1	7·75	7·89	8·91
Französische Stearinkerze	0·062	0·130	1	1·02	1·15
Deutsche Vereinskerze	0·061	0·127	0·984	1	1·13
Englische Kerze . .	0·054	0·112	0·870	0·886	1

Um die von Violle vorgeschlagene Platinlichteinheit bequemer herstellen zu können, hat W. Siemens in Berlin Versuche angestellt, die nach seinen Mittheilungen in der Elektrotechnischen Zeitschrift zu dem gewünschten Resultat geführt haben. Siemens spricht sich über seinen Apparat wie folgt aus:

»Allerdings entspricht die neben abgebildete Lampe eigentlich nicht der von der Conferenz gegebenen Definition, da das Licht bei ihr nicht von im Erstarren geschmolzenem Platin, sondern von im Schmelzen begriffenem ausgeht. Ob beim reinen Platin eine in Betracht kommende Temperaturdifferenz zwischen dem Schmelz- und Erstarrungspunkte besteht, ist noch unbekannt. Sollte ein solcher Unterschied wirklich constatirt werden, so müssten die Angaben der Lampe durch einen zu ermittelnden Coëfficienten corrigirt werden, um die gesetzliche Lichteinheit zu geben. Die Lampe (Fig. 30 und 31) beruht auf dem Schmelzen eines sehr dünnen,

5 bis 6 Mm. breiten Platinbleches durch einen dasselbe durchlaufenden elektrischen Strom. Das Platinblech ist in einem kleinen Metallkasten eingeschlossen, in dessen

Fig. 30.

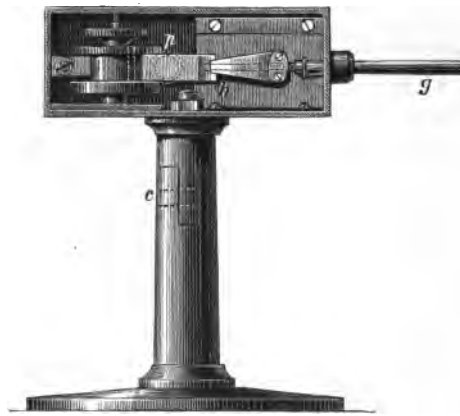
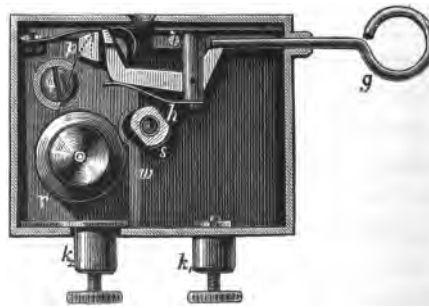


Fig. 31.



einer schmalen Wand sich eine nach innen conisch verjüngende Oeffnung befindet, deren kleinster Querschnitt möglichst genau 0·1 Qu.-Cm. Inhalt hat. Dicht hinter diesem Loch befindet sich das Platinblech, welches dessen

Ränder nach allen Seiten überragt. Wird nun dieses Platinblech durch Einschaltung einiger galvanischer Zellen zum Glühen gebracht, so ist die durch das Loch ausstrahlende Lichtmenge genau so gross, als wenn der Sitz der Lichtausstrahlung sich in der Fläche der Oeffnung selbst befände. Hat man nun die Batterie mit einer Einrichtung versehen, welche gestattet, die Stromstärke sehr langsam zu vergrössern, so hat man Zeit, das Photometer fortwährend in der Gleichgewichtslage zu erhalten, bis das Platin schmilzt und plötzlich Dunkelheit eintritt. Das vom Loche kurz vor diesem Moment ausgestrahlte Licht ist dann genau ein Zehntel der von der Conferenz adoptirten Einheit für weisses Licht. Ein kleiner, im Gehäuse der Lampe angebrachter Zangenmechanismus ermöglicht es, durch eine einfache Hin- und Zurückschiebung eines Griffes ein neues Stück des auf eine Rolle aufgewickelten Platinbleches anstatt des geschmolzenen einzuschalten und vor das Loch zu bringen und so das Experiment ohne Zeitverlust beliebig oft zu wiederholen.

Vor der Methode des Schmelzens des Platins in einem Kalktiegel hat die eben beschriebene, ausser der unvergleichlich grösseren Einfachheit und leichteren Handhabung, noch den wesentlichen Vorzug, dass das Platinblech aus chemisch reinem Platin gewalzt werden kann und sich beim Schmelzen selbst nicht verunreinigt. Da ferner das Platinblech sehr dünn sein kann — etwa 0·02 Mm. Dicke ist ausreichend — so ist der Consum an Platin nur sehr gering.

Die von der Conferenz adoptirte Lichteinheit wird daher durch diesen Apparat praktisch brauchbar und ist

dann in der That das zuverlässigste und rationellste Lichtmaass, welches wir gegenwärtig aufstellen können.

Wie weit man diesen Apparat zu praktischen Lichtmessungen mit Vortheil verwenden kann, wird sich erst im praktischen Gebrauch herausstellen. Wahrscheinlich werden die Elektriker in der Regel vorziehen, Glühlampen zu ihren Messungen zu verwenden, welche sie von Zeit zu Zeit mittelst des Platinlichtmessers bestimmen und controliren. In ähnlicher Weise werden die Gastechniker wohl in der Regel vorziehen, die v. Hefner'sche Normallampe zu benutzen, welche für sie den Vorzug hat, dass ihre Lichtfarbe der der Gasflamme nahe steht und dass sie denselben lichtschwächenden Einflüssen unterworfen ist wie diese. Die vergleichenden Messungen, welche ich mit der Platinlampe habe anstellen lassen, haben noch keine numerische Bedeutung, da noch kein chemisch reines Platin zu dem benutzten Bleche verwendet werden konnte. Sie zeigen aber, dass die Messungen sehr gleichmässig ausfallen und bequem ausführbar sind. Sie haben für eine v. Hefner'sche Normallampe oder Normalkerze von 4·0 Mm. Flammenhöhe 0·07 der von der Conferenz adoptirten Lichteinheit ergeben. Es ist aber wahrscheinlich, dass die Messungen etwas kleiner ausfallen werden, wenn chemisch reines Platin zur Verwendung kommt.«

Ob nun der Schmelzpunkt des Platins und dessen Erstarrungspunkt von einander abweichen, ist noch nicht bekannt, doch ist kaum wahrscheinlich, dass eine erhebliche Differenz zwischen beiden vorhanden sein sollte. Siemens fand die Helligkeit der Platineinheit im Schmelzpunkt gleich derjenigen von 15 englischen Normalkerzen.

Immerhin ist nicht zu verkennen, dass die Handhabung der neuen Lichteinheit mancherlei Schwierigkeiten darbietet. Abgesehen davon, dass wohl absolut chemisch reines Platin erforderlich ist, da eine Vermischung mit anderen Metallen, z. B. Iridium, den Schmelzpunkt und damit die Intensität der Strahlung erheblich verändert, ist die von der Conferenz der Elektriker vorgeschlagene Einheit des Lichtes wegen der nothwendigen umständlichen Handhabung wohl kaum geeignet, dem täglichen Gebrauch übergeben zu werden, wie in der Gastechnik solches mit den Normalkerzen geschieht.

Es lassen sich vom Standpunkt der praktischen Photometrie noch eine ganze Reihe anderer Bedenken aufführen. Dass der Violle'sche Apparat von einer allgemeineren Verwendung ausgeschlossen ist, ergiebt sich ohne weiteres, wenn man bedenkt, dass nach den Angaben des Erfinders circa 3 Kg. Platin geschmolzen werden müssen, um das Experiment auszuführen. Rechnen wir 1 Gramm reines Platin zu 1 Mark, so wird ein Anlagecapital von Mark 3000 erforderlich, ehe man überhaupt an die Ausführung des Experimentes denken kann. Die Menge des verwendeten Platins ist aber auf das Ergebniss des Versuches von bedeutendem Einfluss; von dieser hängt es nämlich ab, wie lange das Metallbad durch Freiwerden der latenten Flüssigkeitswärme seine constante Temperatur behält und wie lange das in der Definition der Lichteinheit geforderte Strahlungsvermögen der Platinmasse constant bleibt. Es ist also die Zeit, innerhalb welcher giltige Messungen vorgenommen werden können, direct proportional der Menge des verwendeten Platins; in jedem Fall ist aber der für die

Erzeugung der Lichteinheit geforderte Zustand des Platins ein vorübergehender von sehr begrenzter Dauer. Wir halten diesen Punkt, abgesehen von allen anderen mehr oder minder begründeten Bedenken, für ausschlaggebend für die grundsätzliche Ablehnung der vorgeschlagenen Lichteinheit. Die erste Bedingung, welche wir an ein Normallicht stellen müssen, ist die, dass dasselbe auf längere Zeit constant und unveränderlich ist, um mit genügender Sicherheit Lichtvergleiche vornehmen zu können. Bei dem Violle'schen Apparat und noch in höherem Maasse bei der von Herrn Siemens vorgeschlagenen, sonst sehr sinnreichen und einfachen Platinlampe, sind es aber gewissermaassen nur Lichtblitze, mit denen eine photometrische Messung vorgenommen werden soll. Wie man unter solchen Verhältnissen eine »Aichung der gebräuchlichen Lichtquellen«, der sogenannten Normalkerzen, Lampen etc., »mit absolutem Maass« (nämlich der Platineinheit) zuverlässig ausführen kann, wie Violle will, ist uns unverständlich; denn man wird bei der Ausführung der Messung an bestimmte, von dem Platinlicht abhängige Momente gebunden sein und kann auf den Zustand der zu vergleichenden Kerzen oder Lampen, ob dieselben normal brennen oder nicht, keine Rücksicht nehmen. Allein selbst wenn eine solche Aichung mit absolutem Lichtmaass wirklich direct ausführbar wäre, so hätte die praktische Photometrie dadurch nichts gewonnen.

Es wird in der Zukunft darauf hinauskommen, dass die auch jetzt schon üblichen Vergleichslichtquellen ruhig beibehalten und nur einmal nach der Platineinheit geaicht werden. Dann werden aber photometrische Messungen

mit denselben Fehlern wie bisher behaftet sein; es wird nur das Resultat in einer leicht definirbaren Einheit ausgedrückt.

Aber noch aus einem weiteren Grunde wird man andere Lichtquellen zu photometrischen Messungen heranziehen müssen. Es wurde bereits mehrfach hervorgehoben, dass die Platineinheit, ebenso wie die Kerzen und der Bec Carcel, für praktische Zwecke nicht immer hell genug sei. Es ergiebt sich also die Nothwendigkeit, Zwischenlichtquellen einzuschalten.

Die Genauigkeit der Resultate photometrischer Messungen wird also auch in Zukunft von der Constanz dieser Zwischenlichtquellen abhängen, es muss deshalb auch auf diese hier noch etwas näher eingegangen werden.

Geht man von einer Kerze, von einem Kerzengasbrenner, von der Harcourt'schen, von der Hefner-Alteneck'schen Lampe, oder auch von der Platinlichteinheit aus, so bietet sich als folgende Stufe der Helligkeit zuerst der Bec Carcel dar. Aber auch gewöhnliche Petroleumrundbrenner erweisen sich als ganz vorzügliche constante Zwischenlichtquellen.

Vom Verfasser wurden zwei solcher 14-Linien-Brenner, welche vollkommen gleich untereinander waren, mit einander verglichen und es ergab sich, dass im Verlaufe einer Stunde die grösste Schwankung in der Helligkeit eines Brenners $1{\cdot}7\%$ und die mittlere Abweichung von der mittleren Helligkeit nur $0{\cdot}35\%$ betrug. Bedenkt man, dass hierin auch noch die Beobachtungsfehler enthalten sind, so ergiebt sich, dass eine solche Petroleumlampe als Vergleichslichtquelle sehr zu empfehlen ist.

Sodann prüfte Verfasser die Constanz einer Petroleum-Intensivlampe, wie sie von dem kaiserlichen Rath Ditmar der Prüfungscommission der Wiener Elektrischen Ausstellung zur Verfügung gestellt worden war.

Derselbe verglich diese Lampe mit dem oben besprochenen einfachen Petroleumrundbrenner bei zwei verschiedenen Helligkeiten, und zwar in der Weise, dass im Verlauf einer Stunde alle drei Minuten eine Beobachtung gemacht wurde, bestehend in fünf Einstellungen des Photometerschirmes, deren Mittel zur Berechnung benutzt wurde. Es ergab sich im ersten Falle eine mittlere Helligkeit von 47·18 Normalkerzen (Standard Sperm Candles) und eine mittlere Abweichung vom Mittel innerhalb einer Stunde von $\pm$ 0·26 Kerzen, während die grösste Schwankung, d. h. die Differenz zwischen Maximum und Minimum 0·91 Kerzen war.

Sodann wurde die Lampe höher geschraubt, so dass sie eine mittlere Helligkeit von 63·13 Normalkerzen besass. In diesem Falle zeigte sich eine mittlere Abweichung vom Mittel im Verlauf einer Stunde von $\pm$ 0·25 Kerzen, und die grösste Schwankung betrug 1·41 Kerzen.

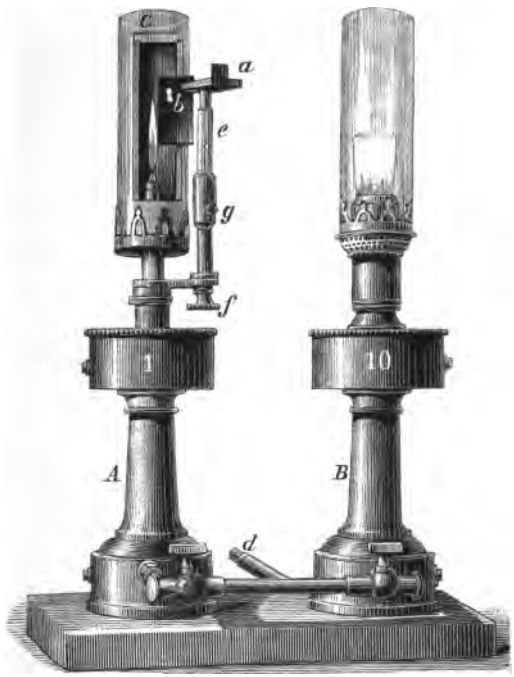
Bei der Helligkeit von 47·78 Kerzen betrug demgemäss die mittlere Abweichung vom Mittel 0·55%, die grösste Schwankung 1·9%, während bei der Helligkeit der Lampe von 63·13 Kerzen diese beiden Zahlen 0·40 und 2·2% waren.

Bis zu einer Helligkeit von etwa 70 Kerzen konnte die Lampe gebracht werden, ohne zu flammen, bei Benutzung von gewöhnlichem Petroleum, und es ist wahrscheinlich, dass bei Anwendung von Kaiser- oder Astralöl

die Helligkeit derselben auf 90 bis 100 Kerzen gebracht werden kann.

Man sieht aus den mitgetheilten Versuchsresultaten, dass Petroleumlampen mit Recht als Zwischenlichtquellen empfohlen werden können.

Fig. 32.



Giroud construirte auch Intensivgasbrenner, welche durch eine eigenartige Verbindung mit einem Einlochgasbrenner eine grosse Constanz und ausserdem eine sehr einfache Controle derselben als eine sehr bemerkenswerthe Eigenschaft besitzen.

Zu diesem Zwecke benutzt Giroud grössere Gasbrenner, deren Helligkeit ein Vielfaches von derjenigen des Kerzenbrenners ist, und welche mit dem letzteren verbunden sind, und aus einer Gasleitung mit demselben Gase gespeist werden, wie Fig. 32 zeigt.

Hier ist das Rheometer *A* versehen mit der Lichteinheit, dem Kerzenbrenner, das Rheometer *B* mit einem Brenner, welcher die zehnfache oder fünfzigfache Helligkeit besitzt.

Das Rheometer *A* ist so justirt, dass der Kerzenbrenner bei einer mittleren Beschaffenheit des Gases eine Flammenhöhe von 67·5 Mm. besitzt, also die Einheit des Lichtes repräsentirt. Die Flammenhöhe kann gemessen werden mit Hilfe eines Flammenmaasses. Die Visirlinie wird gebildet durch den unteren Rand der Platte *a* und die Berührungslinie der beiden kleinen Oeffnungen in dem Schirm *b*. Die Schraube *f* erlaubt eine genaue Einstellung und die Stange *e* besitzt eine Theilung, an welcher die Flammenhöhe direct abgelesen werden kann.

Zur Benutzung bei der photometrischen Messung dient dann nicht direct der Kerzenbrenner, sondern der Brenner mit der Helligkeit 10 auf dem Rheometer *B* (oder der 50-Kerzenbrenner). Beide empfangen das Gas aus dem gemeinsamen Zuflussrohr *d*.

Durch diese Anordnung wird erreicht, dass die beiden Lichtquellen *A* und *B* stets proportionale Veränderungen in ihrer Helligkeit erleiden, wie dieses eingehende Versuche Giroud's beweisen. Der Brenner *B* hat also stets die zehnfache (resp. die fünfzigfache Helligkeit von *A* und die letztere wird durch Beobachtung der Flammenhöhe des Kerzenbrenners *A* ermittelt.

V.

Die elektrotechnische Photometrie.

Seit Davy im Jahre 1813 zuerst zwischen zwei Kohlenspitzen den galvanischen Flammenbogen erzeugte, sind zu vielen Malen Bestimmungen der Helligkeit des elektrischen Lichtes gemacht worden. Die Resultate derartiger Messungen hatten allerdings einiges wissenschaftliche Interesse, waren aber von wenig weittragender Bedeutung, so lange die elektrische Beleuchtung gleichsam als Spielerei diente zur Erzeugung besonderer Effecte auf der Bühne oder bei irgend welchen festlichen Anlässen.

Erst als die elektrische Beleuchtung aus dem Kindesalter der Laboratoriumsversuche in das gereiftere Stadium der praktischen Anwendung zur Beleuchtung von Leuchtthürmen, Strassen und Plätzen gelangte durch die billigere Erzeugung des elektrischen Stromes mittelst magnet- und dynamo-elektrischer Maschinen, erst als sie in die Concurrenz mit den bisherigen Beleuchtungsmethoden eintrat, gewannen die Bestimmungen der Helligkeit dieser neuen Lichtquelle eine grössere Wichtigkeit. In dem lebhaft entfachten Wettkampfe zwischen der Gasbeleuchtung, welche sich durch Einführung kräftigerer Brenner zu höheren Leistungen aufgeschwungen hat, und ihrem jüngsten, vielleicht gefährlichen Rivalen, dem elektrischen Lichte, bilden die Resultate der Helligkeitsmessungen der verschiedenen Lichtquellen so recht den Kern- und Stützpunkt für die Begründung der gegenseitigen Mei-

nungen. Was für die von den Consumenten aufgewendeten Kosten geliefert wird, ist ja eine Quantität Licht; es gilt also vor allem, die Grösse dieser Quantität zu bestimmen, d. h. die Helligkeit der Lichtquelle zu messen, um ein Urtheil darüber zu gewinnen, in welchem Verhältnisse die Leistungen der Lichtquellen zu dem bezahlten Preise einerseits für das gelieferte Gas, auf der anderen Seite zu den Anschaffungs- und Betriebskosten einer elektrischen Beleuchtungsanlage stehen.

Ebenso wie also die Messung der Helligkeit des elektrischen Lichtes unerlässlich ist, um seine Verwerthbarkeit mit derjenigen anderer Beleuchtungsmethoden zu vergleichen, bietet sie neben den Messungen über Kraftverbrauch in den Elektricitätserzeugungs-Maschinen und über die elektrischen Verhältnisse in den Maschinen und Lampen das nothwendige Material zum Vergleiche der verschiedenen Constructionen von Lichtmaschinen und elektrischen Lampen untereinander.

Die ersten wissenschaftlichen Bestimmungen der Intensität des elektrischen Lichtes wurden in den Jahren 1843 und 1844 von Fizeau und Foucault ausgeführt. Die von ihnen erhaltenen Verhältnisszahlen über die Intensität der Sonne, des elektrischen Lichtes und des Drummond'schen Kalklichtes sind in viele Lehrbücher der Physik und in Werke über elektrische Beleuchtung übergegangen. Man darf diese Zahlen aber keineswegs als die relativen Helligkeiten der drei untersuchten Lichtquellen darstellend ansehen. Sie sind weiter nichts als das Maass der chemischen Intensität der Lichtquellen, da Fizeau und Foucault die Stärke der Einwirkung des Lichtes auf eine jodirte Silberplatte

als Maass benutzten. Sie haben selbst nie den Anspruch erhoben, bei ihren Versuchen wirklich die Helligkeiten der untersuchten Lichtquellen miteinander verglichen zu haben, sie haben sich sogar ausdrücklich dagegen verwahrt; trotzdem scheint diese Ansicht durch einige Berichterstatter hervorgerufen worden zu sein, welche die Resultate dieser Versuche brachten, aber nicht die Methode, welche zu denselben führte.

Fizeau und Foucault sagen über diesen Punkt:

»Nach dem, was man gegenwärtig von den chemischen Eigenschaften des Lichtes weiss, ist es gewiss, dass man im allgemeinen die chemische Intensität der Strahlen nicht mit deren optischer Intensität zusammenwerfen darf und dass es sonach ein Lichtbündel geben kann, welches an optischer Intensität ein zweites übertrifft, ihm aber an chemischer nachsteht.

Daraus folgt, dass man von einem auf die chemischen Eigenschaften des Lichtes gegründeten Verfahren nur erwarten darf, ein Maass der chemischen Intensität der Lichtquellen zu erhalten. Und in diesem Sinne hat man auszulegen, was wir über die Mittel zum Vergleiche zweier Lichtquellen durch ihre Wirkungen auf empfindliche Substanzen sagen werden.«

Die von Fizeau und Foucault angewandte Methode beruhte auf der Voraussetzung, dass Gleichheit der chemischen Action stattfinde, sobald die Expositionszeiten im umgekehrten Verhältnisse zu den Intensitäten der Bilder stehen. Vorversuche hatten ihnen gezeigt, dass diese Voraussetzung zutreffe, so lange die Expositionszeiten nicht mehr als um das zehnfache von einander verschieden sind.

Die Versuche wurden in der Art angestellt, dass in einer photographischen Camera auf einer jodirten Silberplatte eine Reihe von Bildern der Lichtquelle erzeugt wurden, welche sämmtlich verschiedenen Expositionszeiten entsprachen, und dann diejenige Zeit als Maass angenommen, welcher das Bild zugehörte, bei welchem die empfindliche Schicht anfängt, Quecksilberdämpfe zu condensiren; das ist der Punkt, bei welchem das photographische Bild entsteht.

Um bei den verschiedenen Lichtquellen bequem messbare Expositionszeiten zu erhalten, mussten zur Erzeugung der Bilder auf der photographischen Platte verschiedene Linsensysteme angewendet werden.

Bezeichnet man die Intensität des leuchtenden Gegenstandes mit I, so ist diejenige seines Bildes

$$i = I\,tg^2\,a,$$

wo $2\,a$ der Winkel ist, unter dem man die Oeffnung des angewendeten Linsensystems von seinem Brennpunkte aus sehen würde. Wegen der oben angegebenen Relation zwischen den Expositionszeiten t und t' und den Bildintensitaten i und i', erhält man aus den Versuchen nach dieser Methode das Verhältniss der Intensitäten zweier Lichtquellen.

$$\frac{I}{I'} = \frac{i\,tg^2\,a'}{i'\,tg^2\,a} = \frac{t'\,tg^2 a'}{t\,tg^2\,a}$$

Die allgemein bekannten Resultate der Versuche von Fizeau und Foucault sind:

Sonnenintensität am 11. April 1844, $11^h\,15'$ bei merkwürdig klarem Himmel	1000
Sonnenintensität am 20. September 1843, 2^h bei blassblauem Himmel	751

Intensität des elektrischen Lichtes, erzeugt durch 3 Reihen von 46 Bunsen-Elementen . . . 385

Intensität des Kalklichtes (Druck 20 Kg. auf 430 Qu.-Cm.) . . . . . 6·85

Die überraschend geringe chemische Wirkung des Kalklichtes veranlasste Fizeau und Foucault, dasselbe mit dem elektrischen Lichte auch in Bezug auf seine optische Intensität zu vergleichen. Sie erzeugten zu dem Zwecke mittelst einer Linse die Bilder der beiden Lichtquellen in natürlicher Grösse neben einander auf einem durchscheinenden Schirm, wobei jeder der beiden Lichtbündel durch eine Blendung abgegrenzt war; eine der beiden Blendungen ward allmälig verkleinert, bis die Helligkeit der beiden Bilder gleich war, und dann ergab das umgekehrte Verhältniss der Flächen der beiden Blendungen das Verhältniss der optischen Intensitäten der beiden Lichtquellen.

Sie fanden, dass sich die optische Intensität des Kalklichtes zu derjenigen des elektrischen Lichtes, erzeugt durch eine Batterie von 46 Bunsen-Elementen, verhielt im Mittel wie 1 : 32·6, während für die chemischen Intensitäten dieses Verhältniss zu 1 : 34·3 gefunden worden war.

Durch dieses Resultat kamen Fizeau und Foucault zu folgendem Schlusse:

»Erwägt man den grossen Intensitäts-Unterschied, der zwischen diesen beiden Lichtquellen vorhanden ist, und besonders die grosse Verschiedenartigkeit der physischen Ursachen, durch welche sie erzeugt worden, so wird man veranlasst, dieses Resultat zu verallgemeinern und für sehr wahrscheinlich zu halten, dass bei Strah-

lungen verschiedener Lichtquellen, wenn sie nur weisses Licht aussenden, die optischen und chemischen Intensitäten in gleichem Verhältnisse stehen.

Dieses Princip angenommen, wären die in dieser Arbeit gegebenen Messungen der chemischen Intensität des Sonnen-, Kohlen- und Kalklichtes zugleich die der optischen Intensitäten dieser Quellen.«

Den in diesen Worten ausgesprochenen Anschauungen hat sich bewusst oder unbewusst im Laufe der Zeit eine Reihe von Forschern angeschlossen, indem sie bei Helligkeitsmessungen die physiologische Wirkung auf die Retina des menschlichen Auges zu ersetzen suchten durch eine chemische.

Fizeau und Foucault haben in der Einleitung ihrer Arbeit den Unterschied zwischen optischer und chemischer Intensität der Lichtstrahlen ganz deutlich ausgedrückt und sich nur durch die merkwürdige Uebereinstimmung ihrer Schlussbeobachtungen zu der mitgetheilten Verallgemeinerung verführen lassen. Allerdings ist auch hier noch vorsichtig eingeschaltet: »wenn sie nur weisses Licht aussenden.« Richtiger müsste es heissen: »wenn ihre spectrale Zusammensetzung vollkommen die gleiche ist.« Dass dieses im allgemeinen bei zwei verschiedenen Lichtquellen nicht der Fall ist, wurde schon in einem früheren Abschnitte gezeigt.

Schon ein Jahr vor Veröffentlichung der Arbeiten von Fizeau und Foucault hatte W. Th. Casselmann in seiner Inaugural-Dissertation (Marburg 1843) Versuche zur Bestimmung der Helligkeit der im Kreis der Kohlenzinkkette beobachteten Lichterscheinungen bekannt gemacht. Diese Arbeit ist um so interessanter, als zu der-

selben das später so allgemein in Anwendung gekommene Bunsen'sche Photometer benutzt und zum ersten Male ausführlich beschrieben wurde. Der wesentliche Theil desselben, der Photometerschirm, bestand aus zwei quadratischen Stücken Papier von 6—7 Qu.-Cm. Grösse zwischen welche ein rechteckiges Stückchen desselben Papieres von 4—5 Mm. Breite und 10—12 Mm. Länge gelegt war; die ganze Combination war zwischen zwei mattgeschliffene Glasplatten gelegt. Casselmann giebt dem Bunsen'schen Photometer den Vorzug vor dem von Rumford und von Ritchie, weil bei demselben die Unterschiede in den Farben der beiden miteinander zu vergleichenden Lichtquellen bei weitem am wenigsten störend sind. Zur Bekräftigung dieser Ansicht dienten ihm vergleichende Versuche zwischen dem Rumford- und dem Bunsen-Photometer. Er bestimmte mit beiden das Verhältniss der Helligkeiten einer Lampe und einer Stearinkerze und es ergab sich

beim Rumford-Photometer:

der mittlere Fehler einer Einstellung . . . . 0·268 Zoll
der wahrscheinliche Fehler einer Einstellung. 0·060 »

beim Bunsen-Photometer:

der mittlere Fehler einer Einstellung . . . . 0·115 Zoll
der wahrscheinliche Fehler einer Einstellung. 0·026 »

Casselmann bestimmte die Helligkeit des elektrischen Lichtes erzeugt mit Hilfe von 44 Elementen und benutzte sowohl rohe Kohlen in der elektrischen Lampe, als Kohlenstifte getränkt mit verschiedenen Substanzen; gleichzeitige Messungen der Lichtbogenlänge und der Stärke des elektrischen Stromes führten ihn zu Schlüssen über die Abhängigkeit der Helligkeit von diesen Factoren.

In den folgenden Jahren sind manche vergebliche Versuche angestellt worden darüber, ob sich das elektrische Licht zur öffentlichen Beleuchtung anwenden lasse; die Berichte hierüber enthalten aber über die Intensität des erzeugten Lichtes keine anderen Mittheilungen, als wie weit etwa das elektrische Licht trotz der Gasbeleuchtung noch Schatten warf.

In den Jahren 1855 bis 1857 stellten Lacassagnac und Thiers in der Rue Impériale in Lyon, sowie auf dem Arc de l'Étoile in Paris Versuche mit ihrem elektrischen Beleuchtungssysteme an, welche die Aufmerksamkeit der Société d'encouragement in Paris auf sich zogen. In Folge dessen ward von dieser Gesellschaft eine Commission zur Prüfung dieser neuen Beleuchtungsart ernannt, in deren Namen Edmond Becquerel einen Bericht abstattete. Dieser Bericht hatte namentlich den Kostenpunkt ins Auge gefasst; es kam hier zum ersten Male zu ernstlicher Erwägung, in welchem Verhältnisse die erzeugte Lichtmenge zu den erforderlichen Kosten der Beleuchtung stehe und in Folge dessen auch zu einem Streite zwischen E. Becquerel und den Erfindern Lacassagnac und Thiers. Während Becquerel seinen Berechnungen die mittlere Helligkeit der elektrischen Lampen von 350 Kerzen zu Grunde legte, glaubten Lacassagnac und Thiers, gestützt auf die Versuche ihres Gewährsmannes, eines Dr. Pilate, eine solche von 600—700 Kerzen annehmen zu dürfen. Welche Methode der Helligkeitsmessungen Becquerel anwendete, ist nicht gesagt, jedoch ist ausdrücklich von einem Photometer die Rede; Pilate fühlt sich aber in seiner Ueberzeugung von der Richtigkeit der von ihm angegebenen Helligkeit

wenig beeinträchtigt dadurch, dass er selbst sagen muss, »dass diese Ziffern nur annähernde sind, weil wir nicht so eingerichtet waren, dass wir uns eines Photometers bedienen konnten, aber unsere Schätzung ist deshalb nicht weniger genau.«

Nachdem die magnet-elektrischen Maschinen von Holmes in England und die Alliance-Maschinen in Frankreich in Anwendung gekommen waren zur Erzeugung des die elektrischen Lampen speisenden Stromes, und vollends, nachdem durch Einführung des elektrodynamischen Princips die Stromerzeugung auf noch wohlfeilere Weise gelungen war, kam die Benutzung des elektrischen Lichtes sowohl auf Leuchtthürmen als in grösseren technischen Etablissements mehr in Aufnahme und die Bestimmung der Helligkeit des elektrischen Lichtes gewann eine grössere Wichtigkeit, um die Wirkung des neuen Lichtes mit den Kosten seiner Installation zu vergleichen. Erst die nun folgenden diesbezüglichen Messungen haben für das Zeitalter der elektrischen Beleuchtung wissenschaftliches und praktisches Interesse.

Aus dem Jahre 1876 besitzen wir drei Arbeiten über das Verhältniss zwischen der mit Hilfe einer Gramme'schen Maschine in einer Serrin'schen Lampe erzeugten Lichtmenge und der zur Bewegung der Maschine erforderlichen Arbeit.

Tresca wandte zu seinen Bestimmungen der Helligkeit des elektrischen Lichtes das in Frankreich sehr verbreitete Foucault'sche Photometer an. Er benutzte als Einheit den Carcel-Brenner (von 40 Gr. in der Stunde). Die Hauptschwierigkeit, welche sich ihm darbot, lag in der verschiedenen Färbung der von der Carcel-Lampe

und dem elektrischen Lichte beleuchteten Flächen, die eine erschien grünlich, die andere rosa gefärbt; um die beiden Nuancen zu corrigiren, schaltete er entgegengesetzt gefärbte Glasplatten in den Gang der Strahlen ein. Die elektrische Lampe zeigte grosse Schwankungen in Bezug auf ihre Helligkeit in Folge der ungleichmässigen Zusammensetzung der Kohlenspitzen. Es ward deshalb zuerst der Carcel-Brenner in solcher Entfernung aufgestellt, dass die von ihm erzeugte Beleuchtung der Photometerplatte ungefähr der mittleren Erleuchtung durch das elektrische Licht entsprach und dann abgewartet, bis die Helligkeit beider Zonen einmal gleich war; in diesem Momente ward dann den am Dynamometer Beschäftigten ein Signal gegeben und so Helligkeit und Arbeit gleichzeitig bestimmt.

Eine zweite Untersuchung ward in demselben Jahre von Hagenbach vorgenommen; derselbe benutzte ein Bunsen'sches Photometer und als Lichteinheit eine Paraffinkerze von 20·4 Mm. Durchmesser und einer Flammenhöhe von 41·3 Mm., deren Helligkeit er zu ein Siebentel Carcel-Brenner annahm.

Die dritte Versuchsreihe ward in den Werkstätten der Herren Heilmann, Ducommun und Steinlen in Mülhausen im Elsass angestellt, in welchen bereits seit dem Jahre 1873 die elektrische Beleuchtung eingeführt worden war. Zu den von Professor Schneider ausgeführten photometrischen Messungen wurde ein Foucault- und ein Bunsen-Photometer angewendet. Die mit beiden Instrumenten erlangten Resultate bieten leider kein Mittel, die beiden Methoden miteinander zu vergleichen, da die Differenzen derselben zumeist von Schwankungen in der

Lichtstärke der elektrischen Lampen herrühren. Die Einheitsquelle (Carcel-Brenner von 40 Gr. per Stunde) war in 1 M. Entfernung von dem Photometerschirme fest aufgestellt, während die elektrische Lampe auf einem Wagen an einer 12 M. langen Theilung verschoben werden konnte.

Im Interesse der Beleuchtung der Leuchtthürme mit elektrischem Lichte wurden auf Veranlassung des englischen Board of Trade im November 1876 und im Januar 1877 auf dem South-Foreland-Leuchtthurme vergleichende Versuche mit Maschinen von Holmes, der Compagnie d'Alliance, von Siemens und von Gramme angestellt, an welchen sich Tyndall, Douglass u. A. betheiligten. Eine sechsdochtige, Colzaöl brennende Lampe, wie sie auf den Leuchtthürmen benutzt wird, ward in einer Entfernung von 30·5 M. von der elektrischen Lampe aufgestellt und die Vergleichung beider miteinander mit Hilfe eines Bunsen'schen Photometers gemacht.

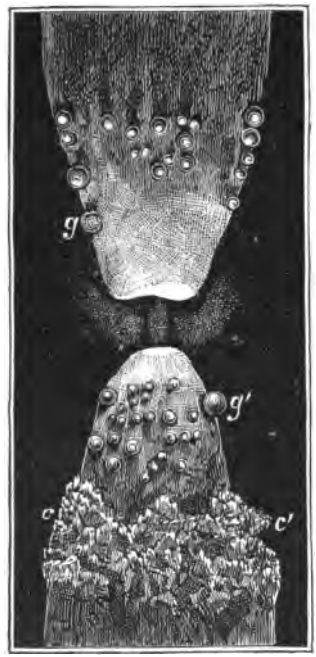
Die sechsdochtige Lampe ward soviel wie möglich auf der Lichtstärke von 722 Kerzen erhalten und ihre Stärke von Zeit zu Zeit durch Kerzenmessungen mit einem besonderen Photometer geprüft. Die Wahl der mächtigen Flamme der sechsdochtigen Lampe erwies sich bei den Messungen des elektrischen Lichtes als wesentlich, die Bequemlichkeit und Sicherheit der Messung erhöhend. Die weisse Flamme dieser Lampe im Vergleiche mit jener der englischen Normalkerze oder der französischen Carcel-Lampe spricht sehr zu ihren Gunsten.

Bei der auf South-Foreland und Souter-Point benutzten magneto-elektrischen Maschine mit Wechselströmen

werden die untere und die obere Kohlenspitze gleichmässig verbrannt und beide haben die Spitzenform.

Die Spitzenform ist sehr günstig, wenn man das Licht in einem möglichst grossen Verticalwinkel ausnützen will; in horizontaler Richtung wird das Licht in alle Richtungen nahezu gleich gesendet, was bei Leuchtthürmen nicht immer verlangt wird, da häufiger der zu beleuchtende Ausschnitt der Seeoberfläche 180^0 nicht überschreitet. In diesen Fällen geht das Licht entweder verloren oder es wird nach Möglichkeit durch geeignete optische Apparate nutzbar gemacht. Bei den dynamoelektrischen Maschinen von Gramme und Siemens mit Gleichstrom wird die obere Kohle in stärkerem Maasse verbraucht als die untere und höhlt sich kraterförmig aus (Fig. 33). Daher kann ein Theil des Lichtes in den obersten Prismen des dioptrischen Leuchtthurmapparates nicht voll ausgenützt werden. Um diesen Verlust zu verhüten und ein Maximum des Lichtes in einer Richtung zu erhalten, werden die Kohlenspitzen in der Lampe gewöhnlich so gestellt, dass die Axe der unteren Spitze nahezu in derselben Verticalen mit dem Vorderrande der oberen liegt.

Fig. 33.



Douglass fand, dass bei dieser Anordnung der Kohlen, wenn man die Lichtstärke bei Stellung der Axen der Kohlenspitzen in derselben Verticale = 100 setzt, die ausgestrahlten Lichtmengen sind:

nach vorne	287
» rechts	116
» links	116
» hinten	38
Mittel	139

Douglass meint, Vorder- und Seitenintensität könnten angemessen als Lichtwerth für Leuchtthurmbeleuchtung angenommen werden, so dass man $\frac{287+116+116}{3}=173$ als Mittel zu nehmen hätte, also 73% mehr als bei Spitzen, deren Axen in derselben Verticalen liegen. Er meint ferner, dass diese mittlere Lichtstärke gut den Werth des elektrischen Lichtes für Leuchtthurmbeleuchtung von Kohlen mit Gleichstrom im Vergleich mit dem Licht von Kohlen mit Wechselstrom darstellt und da er die Helligkeitsbestimmungen bei beiden Arten von Kohlenstellungen stets in der Richtung nach vorne vornimmt, so reducirt er die so erhaltenen Resultate für die Lampen mit Gleichstrom im Verhältniss $287:173=100:60{\cdot}3$.

Seit dem Jahre 1876 sind nun eine grosse Anzahl von Messungen der Intensität des elektrischen Lichtes ausgeführt worden. Jedes elektrotechnische Etablissement giebt ja über Kraftverbrauch in den Dynamomaschinen und über Lichterzeugung in den Lampen, die es verfertigt, Zahlen an und diese Zahlen sind in die vielfachen Werke über die elektrische Beleuchtung übergegangen. Die Methoden, nach welchen diese Beobachtungen ange-

stellt wurden und in Folge dessen die Zuverlässigkeit der durch sie erlangten Resultate entziehen sich natürlich der allgemeinen Kenntniss. Es würde deshalb ohne Werth sein, die grosse Anzahl der hieher gehörigen bekannt gewordenen Zahlen anzuführen, es sollen sich vielmehr die weiteren Mittheilungen beschränken auf diejenigen Messungen, welche von Commissionen oder Gelehrten ausgeführt wurden, soferne sie für die Methoden der Helligkeitsmessung des elektrischen Lichtes überhaupt in Betracht kommen.

Die bisher mitgetheilten Bestimmungen der Helligkeit des elektrischen Lichtes sind stets in der Weise gemacht worden, dass der Flammenbogen in eine Horizontalebene mit der Vergleichsflamme und dem Photometerschirm gebracht wurde, es wurde also nur die Helligkeit derjenigen Strahlen des elektrischen Lichtes bestimmt, welche in horizontaler Richtung ausgesendet werden.

Nun weiss man, dass bei Anwendung von Gleichströmen in dem elektrischem Licht die Vertheilung der Helligkeit zwischen den Kohlenspitzen und dem Flammenbogen eine sehr ungleichmässige ist. Der Flammenbogen selbst sendet etwa 5% der ganzen Lichtmenge aus, die negative meist untere Kohlenspitze 10% und die positive meist obere Kohle 85%. Schon aus dieser Vertheilung geht hervor, dass die Resultate der photometrischen Messungen verschieden ausfallen müssen je nach der Stellung der elektrischen Lampe zum Photometerschirm.

In derselben Richtung auf die Vertheilung der ausgestrahlten Lichtmenge wirkend kommt aber noch der Umstand hinzu, dass die obere positive Kohlenspitze

sich kraterförmig aushöhlt und die grösste Helligkeit sich gerade am obersten Punkte dieses Kraters befindet.

Die Folge dieser Verhältnisse ist, dass bei Anwendung von Gleichströmen in einer nach unten gehenden Richtung eine bei weitem grössere Helligkeit ausgestrahlt wird als in horizontaler Richtung.

Bei Anwendung von Wechselströmen, bei welchen der elektrische Strom in kurzen Zeiträumen seine Richtung ändert und in Folge dessen rasch hintereinander die positive Kohle zur negativen wird und umgekehrt ist die Betheiligung der beiden Kohlenspitzen an der Lichterzeugung eine gleichmässige und in Folge dessen auch die Lichtvertheilung eine bedeutend gleichmässigere als bei Lampen, die mit Gleichstrom gespeist werden.

Um eine genaue Kenntniss von der durch eine elektrische Lampe ausgestrahlten Lichtmenge zu erhalten, sieht man sich also genöthigt, die Helligkeit derselben zu bestimmen, welche in verschiedenen Richtungen ausgestrahlt wird und es sind die dahin gehenden Versuche der letzten Jahre fast sämmtlich unter diesen Gesichtspunkten vorgenommen worden.

Aber auch die zum Vergleich dienende Lichtquelle, sei es eine Kerze oder ein Carcel-Brenner, sendet nicht in verschiedenen Richtungen einer Verticalebene die gleiche Lichtmenge aus. Hierauf hat zuerst Allard aufmerksam gemacht bei der Untersuchung der Helligkeit der Oellampen, wie sie auf Leuchtthürmen benutzt werden.

Allard suchte die Lichtmenge zu ermitteln, welche von dem ganzen optischen Apparat des Leuchtthurmes ausgestrahlt wird; zu diesem Zwecke musste er die Licht-

Kohlen der ganzen Länge nach rothglühend und das Licht war weniger ruhig.

Winkel der Strahlen der elektrischen Lampe mit der Horizontalen	Lichtstärken					
	bei 820 Touren		bei 870 Touren		bei 920 Touren	
	Carcels	Verhältniss	Carcels	Verhältniss	Carcels	Verhältniss
0′	205	1	296	1	403	1
6° 20′	308	1·5	400	1·3	452	1·1
12° 32′	450	2·2	550	1·8	704	1·7
26° 34′	515	2·5	810	2·7	1207	3·0
45° 0′	600	3·0	1100	3·7	1420	3·5
63° 26′	612	3·0	1130	3·8	1440	3·6

Eine noch lehrreichere Versuchsreihe Fontaine's ist folgende. Dieselbe war ebenfalls mit einer Gramme'schen Gleichstrommaschine gewonnen, deren Geschwindigkeit 750 Touren war, bei einem Verbrauch von 2·7 Pferdekräften.

Ueber der Horizontalen			Unter der Horizontalen		
Neigung der Lichtstrahlen gegen die Horizontale	Helligkeit		Neigung der Lichtstrahlen gegen die Horizontale	Helligkeit	
	Carcels	Verhältniss		Carcels	Verhältniss
90°	12	0·05	0°	225	1·0
75°	21	0·1	15°	400	1·8
60°	79	0·3	30°	822	3·7
45°	119	0·5	45°	1175	5·0
30°	130	0·6	60°	1325	6·0
15°	144	0·6	75°	1051	4·7
0°	225	1·0	90°	0	

Fontaine berechnet nun die mittlere Helligkeit nicht nach den pag. 162 angegebenen Principien, sondern nimmt direct aus den Beobachtungsresultaten in zwölf

verschiedenen Richtungen das Mittel. Als solches ergiebt sich eine Helligkeit von 458 Becs Carcels. Die in horizontaler Richtung ausgestrahlte Helligkeit (225 Carcels) ist annähernd die Hälfte dieses Mittels, woraus Fontaine schliesst, es genüge, um die Helligkeit einer mit Gleichstrom gespeisten elektrischen Lampe kennen zu lernen, die von derselben in horizontaler Richtung ausgestrahlte Lichtmenge zu messen und das Resultat mit 2 zu multipliciren.

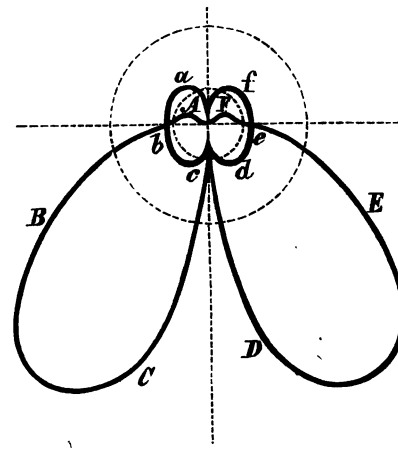
Abgesehen davon, dass die Art der Fontaine'schen Berechnung des Mittels nicht die richtige genannt werden kann, trifft auch seine Folgerung in dem vorliegenden Falle nur zufällig zu und kann nicht verallgemeinert werden, wie die in Folgendem noch aufzuführenden Ergebnisse anderer Untersuchungen leicht zeigen werden.

Ein zweiter unter sonst gleichen Verhältnissen mit einer Gramme'schen Wechselstrommaschine von Fontaine angestellter Versuch ergab bei einem Kraftverbrauch von 2·73 Pferdekräften folgende Resultate:

Ueber der Horizontalen			Unter der Horizontalen		
Neigung der Lichtstrahlen gegen die Horizontale	Helligkeit		Neigung der Lichtstrahlen gegen die Horizontale	Helligkeit	
	Carcels	Verhältniss		Carcels	Verhältniss
90°	0	0	0°	215	1
75°	140	0·65	15°	230	1·07
60°	160	0·75	30°	225	1·05
45°	180	0·84	45°	207	0·96
30°	195	0·90	60°	180	0·84
15°	207	0·96	75°	127	0·95
0°	215	1	90°	0	0

Figur 34 zeigt die in den beiden vorstehenden Tabellen gegebenen Resultate graphisch; die Curve *A B C D E F* zeigt die Lichtvertheilung bei Anwendung von Gleichstrom, die Curve *a b c d e f* in demselben Maassstabe diejenige für Wechselstrom. Aus der Figur ist ohne weiteres ersichtlich, dass die erzeugte Gesammtlichtmenge bedeutend grösser ist in ersterem Falle als in letzterem, ausserdem wird solches auch durch die punktirten Kreise gezeigt, deren Flächeninhalt gleich demjenigen der von den Curven eingeschlossenen Flächen ist, so dass demgemäss die Anwendung von gleichgerichteten Strömen sich bei weitem ökonomischer erweist, als diejenige von Wechselströmen.

Fig. 34.



Ausserdem giebt Fontaine an verschiedenen Stellen seines Werkes Resultate von Helligkeitsmessungen, welche den Zweck haben, den Einfluss der Beschaffenheit der Kohle, der Schnelligkeit der Dynamomaschine, der Entfernung der Kohlenspitzen von einander, der Kabellänge, der Versuchsdauer u. s. f. auf die erzeugte Lichtmenge festzustellen.

Allard dehnte seine Untersuchungen über die Leuchtkraft der Leuchtthürme auch auf diejenigen vier französischen Leuchtthürme aus, welche bereits mit

elektrischem Lichte versehen sind, und veröffentlichte seine Resultate in einem höchst interessanten Berichte an den Minister der öffentlichen Arbeiten, in welchem er schliesslich die Einführung der elektrischen Beleuchtung auch auf den übrigen 42 Leuchtthürmen der französischen Küste empfahl.

Um die Intensität des elektrischen Lichtes in verschiedenen Richtungen einer Verticalebene zu bestimmen, benutzte Allard einen versilberten Glasspiegel, welcher an einer verticalen Stange beweglich und drehbar um eine durch die spiegelnde Fläche gehende horizontale Axe war. Dieser Spiegel konnte alle erforderlichen Stellungen einnehmen, um die unter verschiedenen Winkeln von der Lampe kommenden Strahlen zu empfangen und in horizontaler Richtung gegen das Photometer zu reflectiren. In welcher Weise bei der Berechnung der wirklichen Helligkeit der durch die Spiegelung entstehende Lichtverlust berücksichtigt wurde, wird nicht mitgetheilt.

Sehr eingehende Rathschläge giebt Allard darüber, wie man sich gegenüber den starken und plötzlichen Schwankungen in der Helligkeit des elektrischen Lichtes zu verhalten habe, welche die Ermittelung eines mittleren Werthes seiner Intensität äusserst erschweren. Man pflegt sich häufig damit zu begnügen, während einer kurzen Beobachtungsdauer das Maximum und das Minimum der Helligkeit zu bestimmen und daraus das Mittel zu nehmen, oder besser, man sucht durch Schätzung diejenige Entfernung der Normallampe vom Photometer, bei welcher die Helligkeit der elektrischen Lampe ebenso lange über als unter derjenigen von der Normalflamme erzeugten bleibt (Tresca's Methode). Aber diese beiden

Methoden sind augenscheinlich unvollkommen. Allard schlägt vor, sich einer Secundenuhr zu bedienen, welche geht oder steht, je nachdem ein Knopf niedergedrückt wird oder nicht, und zu bestimmen, während welcher Zeit die elektrische Lampe über einer gewissen angenommenen Intensität bleibt. Wenn man diesen Versuch für eine grössere Anzahl verschiedener Helligkeiten macht, welche zwischen den beiden Grenzen liegen, die von dem elektrischem Lichte nicht überschritten werden, kann man einen genügend genauen Mittelwerth daraus berechnen. Man kann auch den Schwankungen des Lichtes zu folgen suchen, indem man die Entfernung der Normallampe genügend schnell ändert, um z. B. alle Intensitäten zu erhalten, welche nicht weniger als eine Viertelminute anhalten und kann wohl ein genügend der Wirklichkeit entsprechendes Mittel daraus gewinnen.

Die Ausführung dieser beiden Methoden ist aber ziemlich schwierig und sehr ermüdend für den Beobachter. Allard maass deshalb nur die Helligkeit der elektrischen Lampe in gleichen Zwischenräumen von einer oder einer halben Minute und vernachlässigte diejenigen Helligkeiten, welche inzwischen stattgefunden haben können, ebenso wie man bei Berechnung des Inhaltes einer durch eine Curve begrenzten Fläche sich beschränkt auf Messung von gleich weit von einander entfernten Ordinaten.

Die Beobachtungen Allard's sind sämmtlich mit einem Foucault-Photometer gemacht; er theilt mit, er habe einige der erhaltenen Resultate mittelst eines Radiometers von Crookes controlirt, welcher Apparat unter Beobachtung gewisser Vorsichtsmaassregeln als Photometer dienen könne. Ueber die Unanwendbarkeit eines

solchen Instrumentes als Helligkeits-Messapparat ist bereits früher hingewiesen worden.

Allard hat sich dann bemüht, die Helligkeitsmessungen des elektrischen Lichtes unter denselben Umständen vorzunehmen, wie sie in der Praxis wirklich vorkommen. Wenn die verschiedenen Organe, welche zur Erzeugung des elektrischen Lichtes nöthig sind, regelmässig functioniren, wenn die Kohlenspitzen von aussergewöhnlich guter Beschaffenheit sind, wenn man durch eine aufmerksame Ueberwachung und Behandlung der Lampe die günstigste Lage des Lichtbogens und die beste Form der Kohlenspitzen zu erhalten sucht, dann kann man eine bedeutend grössere Helligkeit erzielen, als sie bei praktischer Benutzung der Lampe im Mittel vorkommt, wo diese günstigen Umstände nicht immer zutreffen.

Die Zahlen, welche die Fabrikanten elektrischer Beleuchtungsapparate über die durch ihre Vorrichtungen zu erreichende Helligkeit geben, pflegen häufig höher zu sein als die, welche erlangt werden bei Versuchen mit im Gebrauch befindlichen Lampen, und dieses mag seinen Grund hauptsächlich darin haben, dass der Fabrikant selbst bei seinen Messungen die Lampen und Maschinen während der Versuchsdauer in den möglichst günstigen Zustand der Functionirung zu versetzen weiss, welcher in der Praxis nicht immer erreicht wird.

Die Versuche Allard's beziehen sich auf eine Alliance- (Wechselstrom-) Maschine und auf drei Gleichstrommaschinen nach dem System Gramme aus den Werkstätten von Sautter, Lemonnier & Comp. in Paris. Als Lampe ward der Serrin'sche Regulator be-

nutzt. Die Resultate dieser Versuche sind in folgender Tabelle enthalten; als Einheit des Lichtes diente der Normal-Carcelbrenner mit 42 Gramm Verbrauch von Colzaoel per Stunde.

Winkel der Strahlen mit der Horizontalen	Alliance		Gramme Nr. 1		Gramme Nr. 2		Gramme Nr. 3	
	Carcels	Verhältniss	Carcels	Verhältniss	Carcels	Verhältniss	Carcels	Verhältniss
90^0	—	—	—	—	—	—	—	—
75	120	0·4	100	0·1	50	0·1	30	0·1
60	240	0·8	200	0·2	100	0·2	70	0·2
45	270	0·9	460	0·46	190	0·4	120	0·3
30	280	0·93	610	0·61	280	0·6	170	0·5
15	290	0·97	800	0·8	380	0·8	240	0·7
0	305	1·0	1000	1·0	490	1·0	350	1·0
15	300	1·0	1270	1·27	610	1·2	470	1·3
30	295	0·98	1620	1·62	810	1·6	580	1·7
45	285	0·95	1900	1·9	990	2·0	660	1·9
60	275	0·91	1670	1·67	870	1·8	570	1·6
75	215	0·71	700	0·7	220	0·5	200	0·6
90	—	—	—	—	—	—	—	—
Mittel . .	275	—	1010	—	493	—	342	—

Die Mittel wurden erhalten durch Multiplication der Oberfläche der Kugelzonen, welche durch die Mittellinien zwischen je zwei beobachteten Richtungen begrenzt waren, mit der correspondirenden Helligkeit und Division dieses Productes durch die Summen aller Oberflächen.

Eine Betrachtung dieser Versuchsresultate zeigt, dass die Fontaine'sche Regel der Berechnung der Mittelintensität aus der Horizontalintensität hier nicht zutrifft. Das arithmetische Mittel aus den Intensitäten in verschiedenen Richtungen ist hier nicht das doppelte

der Horizontalintensität, sondern sogar noch etwas geringer als diese Horizontalintensität selbst.

In sehr eingehender Weise berichten auch L. Sautter, Lemonnier & Comp. in Paris über die Leistungen der von ihnen angefertigten photoelektrischen Apparate, welche zur Erleuchtung des Terrains im Landkriege oder der Wasserflächen von den Kriegsschiffen aus dienen. Es bestehen diese Apparate aus einem transportablen Motor mit einer Gramme'schen Maschine, sowie einer elektrischen Lampe in einem von Oberst Mangin construirten aplanatischen Reflector. Alle diese Apparate werden auf das Ausführlichste beschrieben in Bezug auf ihre Construction und auf ihre Wirkung, und bei dieser Gelegenheit auch Mittheilung gemacht von den Versuchen zur Bestimmung der Helligkeit der elektrischen Lampen.

Zu diesen Bestimmungen wurde wiederum ein Foucault-Photometer benutzt, bei welchem die zum Vergleich dienende Normallichtquelle in verschiedene Entfernung vom Photometerschirme gebracht werden konnte. Die elektrische Lampe war an einem Stativ in verticaler Richtung verstellbar, sowie um eine horizontale Axe drehbar befand sich der Spiegel, welcher die Strahlen, die in verschiedenen Richtungen die Lampe verlassen, senkrecht auf das Photometer fallen liess; mit Hilfe dieser Vorrichtung konnte man die Helligkeit sämmtlicher Strahlen messen, die in den Richtungen zwischen 70^0 über und 70^0 unter der Horizontalen liegen. Ausserdem war seitlich durch ein kleines Objectiv ein Bild des Flammenbogens auf einem Schirm entworfen, so dass man in diesem Bilde stets die Entfernung der beiden Kohlenspitzen von einander controliren konnte.

Als Lichteinheit diente der Carcel-Brenner (42 Gr.), derselbe ward direct zur Vergleichung mit der Helligkeit der elektrischen Lampe benutzt, so lange die letztere nicht 1000 Becs Carcels überstieg. Bei noch grösseren Helligkeiten war diese Vergleichsflamme zu wenig intensiv, um genügend genaue Resultate zu erlangen. In solchen Fällen wurde die Helligkeit der elektrischen Lampe verglichen mit der Helligkeit eines Giroud-Gasbrenners, welche ca. 7 Becs Carcels gleichkam. Dieser Gasbrenner war verbunden mit einem Einlochbrenner von 1 Mm. Weite und wurde mit demselben Gase gespeist. Es ergab sich durch Vorversuche: erstens, dass die Schwankungen der Helligkeit dieses Einlochbrenners in Folge der verschiedenen Zusammensetzungen des Gases proportional seiner Flammenhöhe war, und dass zweitens die Schwankungen in der Helligkeit des grossen Brenners von 7 Becs Carcels proportional waren den Schwankungen der Helligkeit des Einlochbrenners, folglich auch der Flammenhöhe des letzteren. Es genügte also, während der Dauer der Versuche mittelst eines am Einlochbrenner angebrachten Flammenmaasses dessen Flammenhöhe zu bestimmen und die Helligkeit des 7 Carcel-Brenners darnach zu berechnen. Eine Tabelle giebt die zusammengehörigen Werthe von Flammenhöhe des Einlochbrenners und Intensität des 7 Carcel-Gasbrenners.

Um den störenden Einfluss der verschiedenen Färbung der beiden Lichtquellen zu beseitigen, wurde in den Gang der von der elektrischen Lampe kommenden Strahlen ein grünliches Glas eingeschaltet, wodurch die Färbung der beiden Hälften des Photometerschirmes genau die gleiche wurde.

Resultate der Versuche mit verschiedenen Gramme'schen Maschinen.

Neigung der Strahlen gegen die Horizontalen		Gramme *H*		Gramme *A G*		2 Gramme *C T* auf Quantität verbunden		Gramme *C Q*		Gramme *D Q*	
		Becs	Verhältniss	Becs	Verhältniss	Becs	Verhältniss	Becs	Verhältniss	Becs	Verhältniss
Lichtstärke	60° über	70	0·3	97	0·3	410	0·3	220	0·2	200	0·2
	40 »	110	0·5	182	0·5	666	0·4	424	0·3	450	0·4
	20 »	120	0·5	234	0·7	807	0·5	650	0·5	700	0·6
	0 »	234	1·0	350	1·0	1560	1·0	1218	1·0	1189	1·0
	10° unter	300	1·3	515	1·5	2100	1·4	1580	1·3	1720	1·4
	20 »	402	1·7	780	2·2	2800	1·8	2120	1·7	2660	2·2
	30 »	436	1·9	962	2·5	3600	2·3	2350	1·9	3600	3·0
	40 »	476	2·0	941	2·5	4020	2·6	1686	1·4	4150	3·5
	50 »	400	1·7	578	1·7	4200	2·7	940	0·8	3600	3·0
	60 »	130	0·6	385	1·1	3400	2·2	750	0·6	2976	2·5
	70 »	60	0·3	270	0·8	2600	1·6	500	0·4	2456	2·1
Mittlere Helligkeit		226	1·0	490	1·4	2382	1·5	1241	1·0	2198	1·9
Helligk. bei geneigt. Stellung		635	2·7	1200	2·4	4600	3·0	3300	2·7	6000	5·0
Schnelligkeit der Maschine		1600		820		670		1380		495	
Kohlen		3 Mm. verkupfert		13 Mm. {+ verkpf. — roh		18 Mm. roh		58 Mm. verkupf.		20 Mm. verkupf.	
Bogenlänge		3 Mm.		14 Mm.		5 Mm.		4·5 Mm.		6 Mm.	
Widerstand	Bobine	1·374 Ohm		0·658 Ohm		0·120 Ohm		0·069 Ohm		0·178 Ohm	
	Elektromagnet	3·716 »		0·458 »		0·288 »		0·184 »		0·246 »	
	Ganze Maschine	5·090 »		1·116 »		0·408 »		0·253 »		0·424 »	
	Kabel	0·127 »		0·350 »		0·240 »		0·280 »		0·173 »	
	Kohlen und Bogen	1·449 »		1·867 »		0·629 »		0·791 »		0·774 »	
Ganzer Widerstand		6·666 Ohm		3·458 Ohm		1·277 Ohm		1·324 Ohm		1·371 Ohm	
Stromstärke		53·5 Weber		24·5 Weber		70 Weber		65 Weber		70 Weber	
Elektromotorische Kraft		30 Volt		80 Volt		89 Volt		86 Volt		96 Volt	

Diese Zahlen über verschiedene Helligkeiten der elektrischen Lampen in verschiedenen Richtungen gegen die Horizontale zeigen, dass das Maximum der Intensität nicht immer in dieselbe Richtung fällt, es schwankt zwischen 30 und 50 Grad; es scheint, dass bei kleiner Länge des Lichtbogens sich das Maximum mehr von der Horizontalen entfernt als bei grösserer; es wäre denkbar, dass in ersterem Falle der nach innen gerichtete Conus der oberen positiven Kohle tiefer ist als in letzterem. Es hat also auch die Curve der Intensität bei den verschiedenen Versuchen eine andere Gestalt. Die Punkte dieser Curve werden erhalten, indem man von dem hellsten Punkte der Lichtquelle aus Strahlen zieht und auf ihnen die Intensitäten, welche diesen Richtungen zukommen, abträgt. Die Fläche, welche von dieser Curve eingeschlossen wird, wird von Sautter, Lemonnier & Comp. als Maass für die totale Lichtmenge angenommen nnd die mittlere Helligkeit als Radius desjenigen Kreises bestimmt, welcher denselben Inhalt hat wie diese Fläche.

Es ist hier ausserdem noch die Helligkeit bei geneigter Stellung der Lampe angegeben, wie sie in der Anwendung bei den Projectoren vorkommt; es wird in diesen Apparaten die obere Kohlenspitze etwa um 3 Mm. gegen die untere zurückgesetzt und dann die Lampe um 20 Grad geneigt; dadurch entsteht an der oberen positiven Kohlenspitze eine nach vorne gerichtete leuchtende Fläche, so dass in der horizontalen Richtung eine bedeutend grössere Helligkeit ausgestrahlt wird, als bei senkrechter Kohlenstellung. Die für diesen Fall gegebenen Zahlen stellen die Intensität in horizontaler Richtung dar.

Im Jahre 1881 wurde in Rouen von der dortigen »Société industrielle« eine Commission niedergesetzt, welche die Wirksamkeit der in Rouen versuchsweise in Betrieb gesetzten elektrischen Beleuchtungen nach den Systemen Jablochkoff, Gramme und Siemens prüfen sollte. Aus deren erstattetem Bericht geht hervor, dass auch hier das Foucault-Photometer, die Carcel-Lampe von 42 Gr. und ein mit Silber belegter Glasspiegel benutzt wurden, um die Strahlen, die aus verschiedenen Richtungen kommen, horizontal zu machen. Der Lichtverlust durch den Spiegel war 25—35% je nach der Neigung derselben; es wurde zur Berechnung das Mittel von 30% angenommen. Die Resultate scheinen sehr unter den Schwankungen der Helligkeit der Lampen gelitten zu haben.

Die untersuchten Lampen blieben auf ihren Trägern und die Beobachtungen wurden in verschiedenen Entfernungen von ihnen gemacht und so die Helligkeit der Lampen in einer beschränkten Anzahl von Richtungen gemessen. Um einen Vergleich der Beleuchtung des Bodens durch die drei untersuchten Lichtquellen zu ermöglichen, wurde für jede aus den Beobachtungsresultaten eine Curve construirt; Abscissen dieser Curve waren die Entfernungen vom Fusspunkte der elektrischen Lampe, in welcher die einzelnen Beobachtungen gemacht worden waren, und Ordinaten die reciproken Werthe der Quadrate der zugehörigen Entfernungen der Normal-Carcel-Lampe von dem Photometerschirm

$$\frac{1}{d^2} = \frac{J}{D^2}$$

(wo d die Entfernung der Lichteinheit, D die Entfernung

und J die Intensität der elektrischen Lampe ist). Es stellt also die Höhe der Curve über den einzelnen Punkten der horizontalen Axe des Coordinaten-Systems die Lichtmenge vor, welche auf diese Punkte fällt.

Ferner wurde für die einzelnen Lichtquellen der Radius des Wirkungskreises bestimmt, welcher derart definirt wurde, dass die Beleuchtung der Peripherie dieses am Boden gedachten Kreises, in dessen Mittelpunkt die elektrische Lampe sich befindet, gleich derjenigen ausgeübt von einem Carcel-Brenner in bestimmter Entfernung (4, resp. 3·5 Meter) sei.

Diese Art der Beobachtung gründet sich auf die Erwägung, dass es in der Praxis, zumal wenn es sich darum handelt, die eine Beleuchtungsart (Gas) durch die andere (elektrisches Licht) zu ersetzen, von weniger Interesse ist, die Helligkeit der Lichtquelle kennen zu lernen, als vielmehr ihren Beleuchtungseffect zu untersuchen. —

Seit die Jablochkoff-Kerze in einigen Strassen in Paris eingeführt ist, haben alljährlich auf Veranlassung des Pariser Municipalrathes Untersuchungen über die Leistungen dieser Beleuchtungsart stattgefunden und hauptsächlich eine Vergleichung mit der verbesserten Gasbeleuchtung, wie sie in der Rue du Quatre Septembre von der Pariser Gasgesellschaft als Concurrenzbeleuchtung eingerichtet ist. In Folge der Resultate dieser Versuche im Jahre 1883 ist die Beleuchtung der Avenue und der Rue de l'Opéra in Paris mit Jablochkoff-Kerzen aufgegeben worden.

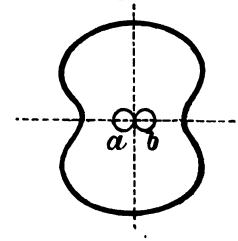
Aus dem im Jahre 1880 von dem Ingenieur en chef Allard (nicht zu verwechseln mit dem Leucht-

thurm-Director Allard) erstatteten Bericht geht hervor, dass die photometrischen Versuche in den Werkstätten der Société Jablochkoff mittelst eines Foucault-Photometers angestellt wurden, die auf der Strasse unternommenen vergleichenden Versuche zwischen der Jablochkoff-Kerze und dem Pariser Intensiv-Gasbrenner mittelst eines Schattenphotometers, welches wegen ungleicher Färbung der beiden Lichtquellen sehr unsichere Resultate ergab.

Da bei der Jablochkoff-Kerze die beiden Kohlenstifte nebeneinander stehen, so wird in der Richtung senkrecht zur Ebene der Kohlenstifte die Intensität ein Maximum sein, in der Richtung der Ebene dagegen ein Minimum, da in diesem Falle eine der Kohlen durch die andere verdeckt ist; es ist das Minimum = 0·57 des Maximums, also etwas mehr als die Hälfte in Folge des nach der einen wie der anderen Richtung stark leuchtenden Flammenbogens an den Spitzen der Kohlen.

Die Form der Intensitätscurve ist annähernd diejenige einer Lemniscate, in welcher die eingezogenen Theile in der Ebene der beiden Kohlenstäbe *a b* liegen.

Fig. 35.



Nach der Meinung des Prof. Joubert, welcher die Interessen der Société Jablochkoff bei diesen Untersuchungen vertrat, ist es falsch, als mittlere Helligkeit das Mittel aus dem Maximum und dem Minimum auszurechnen, was $\frac{1 + 0{\cdot}57}{2} = 0{\cdot}78$ ergeben würde; die Intensitätscurve sei nämlich keine Ellipse, deren grosse und kleine

Achse dem Maximum und dem Minimum entsprechen, sondern sie besitze mehr die Form einer Acht und die genaue Rechnung ergebe als Mittel 0·9 des Maximums.

Da die in horizontaler Richtung ausgesandten Strahlen bei der Strassenbeleuchtung nur die Façaden der Häuser aber nicht die Strassen selbst beleuchten, so wurde den vergleichenden Rechnungen nicht die Horizontalintensität, sondern die Helligkeit der unter 45^0 nach unten gerichteten Strahlen zu Grunde gelegt und es ergab sich, dass bei der Jablochkoff-Kerze diese Helligkeit 75%, bei dem Intensiv-Brenner 50% der Horizontalintensität betrage.

Endlich wurde erwähnt, dass die Luft durchsichtiger sei für die Gaslaternen als für das Licht der Jablochkoff-Kerze, da das Gaslicht mehr Roth enthalte und es ja bekannt sei, dass z. B. rothe Laternen bei nebeliger Luft am weitesten sichtbar seien. Es müsste also dieser allerdings etwas schwierig festzustellende Unterschied eliminirt werden, aber doch wohl zum Zwecke wissenschaftlicher Untersuchungen; bei praktischen Vergleichungen der beiden Beleuchtungsarten muss man diese günstigere Stellung des Gaslichtes ruhig bestehen lassen, da sie ja bei der Anwendung immer eintritt.

Der Vollständigkeit halber sind noch die Versuche zu erwähnen, welche seitens der Militär-Ingenieurschule zu Chatham in den Jahren 1879 und 1880 mit elektrischen Lichtapparaten angestellt wurden. Hier wurde zu den photometrischen Messungen ein Rumford'sches Photometer benutzt und als Vergleichslichtquelle ein Argand-Brenner von 40 Kerzen Helligkeit, der mit einem Sugg'schen Regulator versehen war. —

Die internationale Elektricitäts-Ausstellung in Paris im Herbst des Jahres 1881 bot Gelegenheit, eine grössere Anzahl von elektrischen Lichtmaschinen und Lampen einer Untersuchung zu unterwerfen und zu diesem Zwecke auch Messungen über die Helligkeit der Lampen vorzunehmen.

Die dritte Section des gleichzeitig mit der Ausstellung in Paris tagenden Congresses der Elektriker hatte sich vorzugsweise mit der Frage der Photometrie des elektrischen Lichtes zu beschäftigen und es zeigte sich bei dieser Gelegenheit, dass man zu einer Einigung über die dabei anzuwendenden Methoden nicht gelangen könne.

Ueber die Art des anzuwendenden Photometers wurde wenig berathen; das von Tschikoleff vorgeschlagene Photometer von Masson wurde auf Grund eigener Erfahrungen von Edm. Becquerel verworfen, Latchinoff empfahl das Bunsen'sche Photometer und Bergé machte den wunderlichen Vorschlag, durch Entfernung der elektrischen Lampe die Beleuchtung einer weissen Fläche so lange zu vermindern, bis durch eine davor gehaltene Kupferammoniumlösung die Beleuchtung derselben gerade verschwände. Die Fehler dieser Methode sind bereits oben gewürdigt worden, ebenso der Vorschlag von E. Becquerel, sein chemisches Elektroactinometer als Photometer zu benutzen.

Als Hauptschwierigkeit bei der Vergleichung der Helligkeit des elektrischen Lichtes mit derjenigen einer anderen Lichtquelle ward von Allen übereinstimmend die verschiedene Färbung der beiden beleuchteten Hälften des Photometerschirmes erkannt. Ayrton empfahl die

Benutzung von rothen und grünen Gläsern, verschwieg aber nicht die Schwierigkeit, die mit den beiden Farben erhaltenen, von einander abweichenden, Messungsresultate zu deuten; Macé de Lépinay hielt es überhaupt für unmöglich, mit Genauigkeit zwei Lichtquellen von verschiedener Farbe mit einander zu vergleichen; Crova versuchte mehrfach seinem Spectrophotometer Freunde zu verschaffen. Allard berichtete, dass die Farbendifferenz sich in ein gleichmässiges Grau auflöse, wenn man mit den Augen etwas blinzle und Gladstone schlug vor, die beiden Lichtquellen in so grosser Entfernung vom Photometer aufzustellen, dass in Folge der geringen Intensität die Farbenempfindung überhaupt aufhört.

Rousseau machte zuerst darauf aufmerksam, dass die Helligkeit der elektrischen Bogenlampe in verschiedenen Winkeln bestimmt und daraus für jede Lampe die Gleichung der Intensitätscurve $J = f(a)$ berechnet werden müsste. Zu diesem Zwecke könne man ohne Anwendung einer Normallichtquelle zwei elektrische Lampen gleicher Construction mit einander vergleichen. Dieser Versuchsanordnung werden wenigstens bei Bogenlampen im allgemeinen die verschiedenen elektrischen Zustände der beiden Lampen, sowie die Schwankungen der Intensität in Folge der Beschaffenheit der Kohlen unüberwindliche Schwierigkeiten entgegensetzen. Es wurde Rousseau's Vorschlag, die Gleichung jeder Lampe aufzustellen, von Allard, Schoolbred, Le Blanc und William Siemens unterstützt und von der Section angenommen.

Die Bearbeitung der Frage nach der Lichteinheit und nach der Construction des Photometers wurde nach

Crova's Vorschlag einer internationalen Commission überwiesen.

Von der Jury der Pariser Elektricitäts-Ausstellung wurden zwei Experimental-Comité's ernannt, von denen das eine, bestehend aus den Herren Allard, Joubert, Le Blanc, Potier und Tresca in Bezug auf die Bogenlampen die in den Motoren absorbirte Arbeit, die erzeugte Strommenge, die elektrischen Verhältnisse in Maschinen, Leitungen und Lampen, sowie endlich die in den Lampen erzeugte Helligkeit zu bestimmen, das andere, welchem die Herren Barker, Crookes, Kundt, Hagenbach und Mascart angehörten, dieselben Arbeiten in Bezug auf die aufgestellten Glühlampen auszuführen hatte.

Maschine	Lampe	Winkel unter denen gemessen wurde	Lichtstärke einer Lampe		
			Horizonta	Maximum	Sphärisch. Mittel
Gramme	Handlampe	$0^0 \pm 50^0$ / $0^0 \pm 60^0$	952	1960	966
Jürgensen	Serrin	—	607	—	688
Maxim	Maxim	$0^0 \pm 45^0$ / $0^0 \pm 60^0$	246	465	239
Siemens	Siemens	—	210	805	306
Siemens	2 Siemens	—	142	537	205
Bürgin	3 Crompton	viele Richtungen	50	227	82
Gramme	3 Gramme	—	155	337	167
Gramme	5 Gramme	$0^0 \pm 45^0$ / $0^0 \pm 60^0$	112	184	102
Siemens	5 Siemens	$0^0 \pm 30^0$	67	72	52
Weston	10 Weston	$0^0 \pm 45^0$ / $0^0 \pm 60^0$	92	154	85
Brush	16 Brush	—	37	76	38
Brush	40 Brush	$0^0 - 30^0$	63	78	39
Brush	38 Brush	$-45^0 - 60^0$	63	78	39

Die Messung der Helligkeit der Bogenlampen geschah nach der vom Congress angenommenen Lichteinheit, dem Carcel-Brenner, und es wurden bei jeder Lampe unter möglichst vielen Neigungen gegen die Horizontale die Bestimmungen vorgenommen. Die Resultate waren für Lampen mit Gleichstrom die vorstehend gegebenen:

Ueber die Bestimmung der Helligkeit der Glühlampen ist bisher in diesen Zeilen noch nicht berichtet worden, weil derartige Messungen erst in neuerer Zeit vorgenommen worden sind. Sie sind bedeutend leichter auszuführen, als die Messung der Helligkeit der Bogenlampen, da die Helligkeit und Farbe der Glühlampen wenig verschieden ist von den analogen Eigenschaften der Oel- und Gasflammen. Als Lichteinheit wählt man deshalb die Kerze oder eine Oel- resp. Gaslampe.

Die von dem Pariser Comité ausgeführten Bestimmungen wurden mit Hülfe eines von der Edison-Gesellschaft ausgestellten Bunsen'schen Photometers gemacht und als Vergleichshelligkeit diejenige von zwei englischen Normal-Wallrathkerzen von 120 grains Materialverbrauch in der Stunde benutzt. Die Glühlampen wurden so aufgestellt, dass die Ebene des Kohlenbügels einen Winkel von 45 Grad mit der optischen Axe des Photometers bildete; da die von den Glühlampen in der Ebene des Kohlenbügels ausgestrahlte Intensität im allgemeinen verschieden ist von der Intensität in einer Richtung senkrecht zur Ebene des Kohlenbügels, so gedachte man bei dieser Mittelstellung einen vergleichbaren Mittelwerth herauszubringen.

Die photometrischen Messungen wurden dann in der Weise ausgeführt, dass durch Regulirung der elek-

trischen Verhältnisse die Helligkeit der Glühlampen jedesmal auf 16 resp. 32 Kerzen gebracht wurde. Aus dem gleichzeitig bestimmten Kraftverbrauch ergaben sich die folgenden Lichtmengen in Kerzen, welche in den betreffenden Glühlampen bei Anwendung von einer Pferdekraft erzeugt werden:

	Edison	Swan	Lane Fox	Maxim
16-Kerzenlampe	196·1	170·2	173·9	151·0
32 » »	307·1	240·5	276·8	239·8

Die hier mitgetheilten Zahlen erscheinen recht hoch; sie sind sämmtlich bedeutend höher, als sie selbst von den Verfertigern der Lampe angegeben worden und wie sie aus anderen Untersuchungen bekannt geworden sind.

Ob durch die Bestimmung der Helligkeit der Glühlampen unter einem Winkel von 45 Grad zu der Ebene des Kohlenbügels die mittlere Helligkeit erreicht wird, wird von der Beschaffenheit der untersuchten Lampen abhängen. Es sind bald nach der Pariser Ausstellung zwei Reihen von Messungen der Helligkeit einer Glühlampe bekannt geworden, die sich über eine grössere Anzahl von Richtungen um eine verticale Axe erstrecken.

Morton fand bei einer 16-Kerzen-Edison-Lampe in den verschiedenen Richtungen, ausgehend von der Ebene des Kohlenbügels

bei 0^0	6·7	Kerzen
» 10^0	6·9	»
» 20^0	8·4	»
» 30^0	12·8	»
» 40^0	14·3	»
» 50^0	16·3	»

bei 60^0 . . . . 17·7 Kerzen
» 70^0 . . . . 19·1 »
» 80^0 . . . . 19·8 »
» 90^0 . . . . 20·6 »

Die mittlere Helligkeit liegt hier in der Richtung von 40 Grad. Es ergab sich bei der Arbeit von einer Pferdekraft eine erzeugte Lichtmenge von 120 Kerzen (Edison selbst giebt immer 128 Kerzen an).

John B. Howell erhielt dagegen ebenfalls bei einer 16-Kerzen-Edison-Lampe:

bei 0^0 . . . . 14·2 Kerzen
» 10^0 . . . . 16·0 »
» 20^0 . . . . 16·9 »
» 30^0 . . . . 17·2 »
» 40^0 . . . . 17·4 »
» 50^0 . . . . 17·4 »
» 60^0 . . . . 16·8 »
» 70^0 . . . . 15·5 »
» 80^0 . . . . 13·6 »
» 90^0 . . . . 12·9 »

Die mittlere Helligkeit liegt hier bei 65 Grad.

Die grossen Unterschiede, welche zwischen diesen beiden Reihen zu Tage treten, haben ihren Ursprung jedenfalls darin, dass die Vertheilung der Helligkeit in verschiedenen Richtungen um eine verticale Axe individuell für jedes Exemplar einer Glühlampe ist und dass sie bei der hufeisenförmigen Anordnung des Kohlenbügels hauptsächlich abhängig ist von der Form des Querschnittes der Kohlenfaser.

Genau in der Ebene des Kohlenbügels wird allerdings der eine Zweig des Bügels durch den anderen

verdeckt, bei der sehr geringen Dicke des Kohlendrahtes wird aber bei einer kleinen Drehung aus dieser Stellung diese Bedeckung nicht mehr stattfinden, und in dem Falle, dass der Querschnitt des Kohlendrahtes kreisförmig ist, wird die Helligkeit fast dieselbe sein, als in einer zu der besprochenen senkrechten Richtung, da nur der obere Bogen des Kohlehufeisens verkürzt erscheint. Hat der Querschnitt des Kohlendrahtes eine andere Form, so wird die grösste Helligkeit in die Richtung ausgestrahlt werden, in welche der kleinste Durchmesser des Querschnittes fällt und umgekehrt. —

Nachdem die Arbeiten des Pariser Congresses zu keinen festen Normen für die elektrische Photometrie geführt hatten, war die Prüfungscommission der Internationalen Elektricitätsausstellung in München im Jahre 1882 wiederum darauf angewiesen, über die einzuschlagenden Methoden schlüssig zu werden.

Der erste der zu erwägenden Punkte war die Wahl der Lichteinheit, nach welcher gemessen werden sollte. Es standen in dieser Beziehung die verschiedenen Kerzen und der französische Carcel-Brenner zur Verfügung; von anderen Lichteinheiten (wie z. B. der Schwendler'schen) musste, selbst wenn sie entschieden besser wären, schon aus dem Grunde abgesehen werden, weil zu wenig Erfahrungen über sie vorliegen und man sich nicht der Gefahr aussetzen durfte, die nicht allzu lang bemessene Versuchszeit durch umständliche Vorversuche noch zu verkürzen, oder vielleicht gar mitten in den Versuchen die gewählte Einheit verlassen zu müssen.

Verschiedene Gründe sprachen für die Annahme der Kerze als Einheit. Der Carcel-Brenner ist bisher

fast nur in Frankreich als Einheit benutzt werden, während man in Deutschland, England, Amerika Helligkeiten stets nach Kerzen rechnet. Noch bestimmender für die Annahme der Kerze als Lichteinheit war aber der Wunsch, bei den durchaus praktischen Zwecken, welche den elektrotechnischen Versuchen zu Grunde lagen, von derjenigen Einheit auszugehen, welche bei Messung der Leuchtkraft des Gases üblich ist und das ist die Kerze. Hier hatte man zwischen der deutschen Normalparaffinkerze von 50 Mm. Flammenhöhe und der London Standard Spermaceti Candle mit 45 Mm. Flammenhöhe zu wählen. Da die letztere am weitesten verbreitet ist, und auch vielfach in Deutschland verwendet wird, so ward die englische Wallrathkerze als Einheit des Lichtes angenommen. Man konnte sich allerdings nicht verhehlen, dass die Kerze als Vergleichslichtquelle mancherlei Unzuträglichkeiten mit sich führt. Vor allem würden die grossen Schwankungen in ihrer Intensität eine grosse Ungenauigkeit in die Messungen hineinbringen, sodann die Beaufsichtigung der Kerze grossen Zeitaufwand erfordert. Aus diesen Gründen wurde beschlossen, die Kerze bei den Messungen selbst durch einen Einlochbrenner zu ersetzen, einen Specksteinbrenner von 1 Mm. Lochweite, dessen Helligkeit ganz constant zu erhalten ist, wenn man für constante Flammenhöhe sorgt, so dass die Kerze nur durch eine Voruntersuchung in die Messung hineinzuziehen war, durch welche diejenige Flammenhöhe des Einlochbrenners vermittelt wurde, bei welcher er die gleiche Intensität ausstrahlt wie die Kerze.

Ein zweiter Uebelstand der Kerze (und auch des Einlochbrenners von gleicher Intensität) ist die geringe

Helligkeit desselben. Hiedurch wird die photometrische Messung, hauptsächlich der grossen elektrischen Bogenlampen von 1000, 2000 und 3000 Kerzen Helligkeit in hohem Grade ungenau, da ein kleiner Fehler in der Einstellung des Photometerschirmes einen grossen Fehler in dem daraus berechneten Helligkeitsverhältniss hervorruft. Es wurde demgemäss beschlossen, Vergleichslichtquellen von grösserer Helligkeit einzuschalten und von dem Einlochbrenner zunächst überzugehen zum Argandbrenner. Dieser sollte direct benutzt werden zur Vergleichung der Helligkeit der Glühlampen. Um aber die Intensität der Bogenlampen zu bestimmen, musste noch eine weitere Stufe eingeschaltet werden. Zuerst wurde hier an die Benutzung einer elektrischen Glühlampe gedacht, welche ja bis zu 200 Kerzen Helligkeit geliefert werden. Die Anwendung einer solchen verbot sich aber dadurch, dass man zu diesem Zweck einen elektrischen Strom nicht allein hätte erzeugen sondern auch mit peinlicher Sorgfalt auf constanter Stärke erhalten müssen, da durch geringe Aenderungen in der Stromstärke und demzufolge in der Temperatur des glühenden Kohlenfadens eine erhebliche Veränderung in der von der Glühlampe ausgestrahlten Lichtmenge eintritt. Es wurde deshalb ein Siemens'scher Regenerativ-Gasbrenner von etwa 100 Kerzen Stärke eingeschaltet und mit diesem dann die Helligkeit der Bogenlampen verglichen.

Da die spectrale Zusammensetzung des Lichtes zweier Lichtquellen im allgemeinen um so verschiedener ist, je weiter ihre Intensitäten auseinander liegen, so bietet die Benutzung einer so starken Vergleichslichtquelle noch den Vortheil, dass der Farbenunterschied,

welcher bei Bestimmung der Helligkeit des elektrischen Lichtes die grösste Schwierigkeit bereitet, bedeutend geringer ist, als bei directer Vergleichung der starken elektrischen Lampen mit einer Lichtquelle von kleinerer Helligkeit.

Bei der Wahl des Photometers war von vornherein von allen auf physikalischer oder chemischer Wirkung basirten Constructionen aus den bereits p. 78 ff. erwähnten Gründen abzusehen. Von den übrigen, die physiologische Wirkung des Lichtes auf die Netzhaut des Beobachters benutzenden Photometers kam das Rumford'sche Schattenphotometer deshalb nicht in Betracht, weil dasselbe augenscheinlich zu exacten Messungen nicht brauchbar ist. Es blieb also das Foucault'sche und das Bunsen'sche Photometer übrig.

Bei dem ersteren scheint aber nach den Aussagen aller Beobachter, welche dasselbe benutzten, die ungleiche Färbung der beiden Hälften des Photometerschirmes bei der Messung der Helligkeit des elektrischen Lichtes sehr störend hervorzutreten, während das Bunsen-Photometer dieser Störung noch am wenigsten unterliegt. Es mag dieses seinen Grund darin haben, dass bei dem Bunsen-Photometer es nicht allein ankommt auf die Vergleichung der Intensität zweier von den beiden Lichtquellen beleuchteten Flächen, sondern dass man einen ferneren Maassstab für die richtige Einstellung desselben dadurch hat, dass man sein Augenmerk auf die gleiche Deutlichkeit der Grenzen des Fettfleckes gegen das ungefettete Papier auf den beiden Seiten des Schirmes richtet. So ist es möglich, dass man bei einiger Uebung bei dem Arbeiten mit dem Bunsen'schen Photometer die ver-

schiedenen Farbeneindrücke der beiden beleuchteten Seiten gänzlich unterdrücken kann und durch Beobachtung der bezeichneten Grenzen genauere Einstellungen trotz der verschiedenen Färbungen fertig bringt, als mit dem Foucault-Photometer.

Das letztere hat noch den grossen Nachtheil, dass der Photometerschirm selbst feststehen und mindestens eine der beiden Lichtquellen in ihrer Entfernung zum Photometer verändert werden muss. Da eine Verrückung der elektrischen Lampe unter allen Umständen mit Rücksicht auf Vermeidung von Erschütterungen des Regulirungsmechanismus unstatthaft ist, so muss die Vergleichsflamme bewegt werden. Dieses könnte der Beobachter nicht selbst ausführen, sondern müsste durch einen Assistenten besorgt werden, es sei denn, dass ein complicirter Mechanismus vorhanden wäre, welcher es ihm ermöglichte.

Bei dem Bunsen'schen Photometer dagegen bleiben die beiden miteinander zu vergleichenden Lichtquellen an den Enden des Photometermaassstabes feststehen und der Photometerschirm wird von dem Beobachter selbst in die richtige Entfernung von den beiden Lichtquellen gebracht.

Ausserdem aber empfahl sich auch die Benutzung des Bunsen'schen Photometers, weil dieses in dem Gasbeleuchtungswesen fast überall zur Bestimmung von Helligkeiten im Gebrauche ist.

Man entschied sich also für das Bunsen'sche Photometer mit der von Rüdorff vorgeschlagenen Abänderung, dass der Papierschirm in der Winkelhalbirungslinie zweier in einem Winkel von 140^0 zu einander geneigten Spiegel angebracht ist.

Die Bestimmung der Helligkeit bei Glühlampen hatte in zwei von einander vollständig gesonderte Arbeiten zu zerfallen, in absolute und relative Messungen. Die absoluten Messungen der Helligkeit wurden gleichzeitig mit der Messung der in den Motoren und Maschinen verbrauchten Arbeit, sowie der elektrischen Verhältnisse vorgenommen, und zwar in der Weise, dass die Ebene des Kohlefadens senkrecht zum Photometermaassstabe gestellt wurde und die Helligkeit der Lampe durch Einschalten von Widerständen auf ein bestimmtes, entweder von dem Fabrikanten der betreffenden Lampen angegebenes oder von der Commission gewähltes Maass gebracht und dann erst die Kraft- und Strommessungen vorgenommen wurden.

Die relativen Messungen der Helligkeit der Glühlampen wurden dagegen ohne gleichzeitige Strom- und Kraftmessungen angestellt und hatten sich ausschliesslich damit zu beschäftigen, die Vertheilung der Lichtausstrahlung in verschiedenen Richtungen zu ermitteln. Zu diesem Zwecke wurde die Intensität zweier Glühlampen derselben Construction, die entweder parallel oder hintereinander geschaltet waren, miteinander verglichen; die eine der Lampen nahm eine Stellung mit der Ebene des Kohlefadens senkrecht zum Photometerstabe ein (Nullstellung), während die zweite um eine verticale und um eine horizontale Axe gedreht und die relative Intensität in verschiedenen Richtungen einer Horizontal- und einer Verticalebene in dieser Weise bestimmt wurde.

Bei den Bogenlampen wurden absolute und relative photometrische Messungen unmittelbar hintereinander

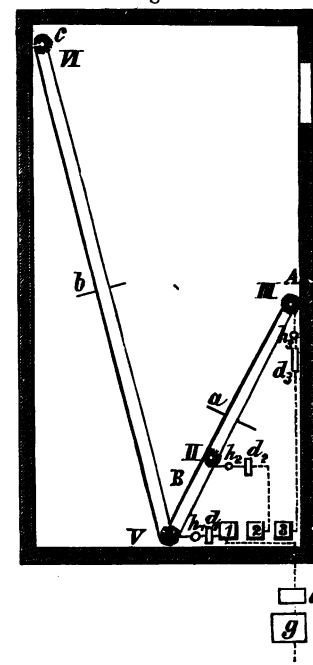
vorgenommen, wegen der Nothwendigkeit, die Arbeit an der einmal mit mehr oder weniger Schwierigkeit in dem Photometerraume montirten Lampe ohne Unterbrechung fortzusetzen und zu vollenden. Es wurde hier dem Fabrikanten gestattet, die Einstellung seiner Lampe so weit zu besorgen und zu überwachen, dass ein normales Functioniren derselben gesichert war, dabei aber darauf geachtet, dass die beiden Kohlenspitzen genau vertical übereinander standen, um einer gleichmässigen Vertheilung der Lichtausstrahlung in verschiedenen Verticalebenen sicher zu sein.

Ausser der Bestimmung der Helligkeit der Bogenlampe in horizontaler Richtung wurde das Verhältniss der ausgestrahlten Lichtmengen in verschiedenen Richtungen von der Horizontalebene nach unten gerechnet ausgemittelt.

Es wäre am angenehmsten gewesen, diese Messungen direct machen zu können, d. h. das ganze Photometer um die betreffenden Winkel zu neigen, unter welchen man messen wollte. Dazu wäre aber einerseits ein complicirter Apparat nothwendig gewesen, andererseits hätte auch die Vergleichsflamme um die gleichen Winkel geneigt werden müssen, damit die von derselben zur Wirkung kommenden Strahlen in allen Fällen dieselben seien; man kann nämlich keineswegs die Vergleichslichtquelle, den Siemens-Regenerativ-Gasbrenner, als leuchtende Kugel ansehen mit gleichmässiger Vertheilung der Helligkeit über ihre Oberfläche. Eine solche Neigung des Siemens-Brenners, auch nur um kleine Winkel, ist aber nicht wohl möglich.

Deshalb wurde zu diesen relativen Messungen benutzt ein am Ende des Massstabes BC aufgestellter, um eine horizontale Axe messbar zu drehender Glassilberspiegel. Die Bogenlampe VI wurde in verschiedene gemessene Höhen gebracht, so dass die unter den verschiedenen Winkeln austretenden Lichtstrahlen durch den Spiegel stets in horizontaler Richtung auf den Photometerschirm b reflectirt wurden; der Schwächungscoëfficient des Spiegels wurde durch eine Voruntersuchung bestimmt.

Fig. 36.



In Richtungen von der Horizontalebene nach oben gerechnet wurden keine photometrischen Messungen angestellt, einmal weil die zur Verfügung stehende Zeit dazu nicht ausreichte, und dann weil zur Vergleichung der praktischen Leistungen der Bogenlampen untereinander und mit den Leistungen anderer Lichtquellen die Betrachtung der unteren Halbkugel genügen, ausserdem aber durch Anschluss an anderweitige bereits bekannte Messungen ein Schluss auf die gesammte ausgestrahlte Lichtmenge ausführbar sein dürfte.

Die Art der Aufstellung der verschiedenen Lichtquellen und Photometer geht aus dem Grundrisse der

photometrischen Kammer hervor (Fig. 36). Hier sind AB und BC zwei photometrische Massstäbe von 6, beziehungsweise 12 M. Länge, auf welchen die beiden Bunsen'schen Photometer a, beziehungsweise b verschiebbar sind.

In das Hauptzuführungsrohr der Gasleitung war direct nach der Betriebsgasuhr (g) ein Membran-Druckregulator (d) eingeschaltet, hierauf verzweigte sich das Hauptrohr in die Leitungen zu dem Siemens-Brenner, dem Argand-Brenner und dem Einlochbrenner. In jeder Zweigleitung befand sich eine Gasuhr: (1), (2) und (3), sowie ein empfindlicher Druckregulator: (d_1), (d_2) und (d_3) und endlich ein Regulirhahn: (h_1), (h_2) und (h_3). Durch diese Anordnung war es möglich, für jede Gaslichtquelle den Gasverbrauch zu messen, während der Druck und die Flammenhöhe constant zu erhalten war.

Ausser dem eben beschriebenen Photometer wurde noch ein vom Verfasser mitgebrachtes Bunsen'sches Photometer von 3 M. Länge benutzt und mit demselben ausschliesslich die relativen Messungen an den Glühlampen, sowie die Bestimmung des Schwächungscoëfficienten des Spiegels S vorgenommen.

Der Gang der Beobachtungen war folgender:

Die englische Normal-Wallrathkerze I von 45 Mm. Flammenhöhe wurde zuerst mittelst des Photometers a auf dem Maassstabe AB mit dem Einlochbrenner II verglichen, sodann dieser Einlochbrenner mit Hilfe seines Flammenmaasses auf constanter Höhe erhalten und seine Höhe mit derjenigen des Argand-Brenners III verglichen und nach dieser die Helligkeit des Siemens-Regenerativ-Gasbrenners V bestimmt. Nun trat die Vergleichung der

Helligkeit der Bogenlänge VI mittelst des Photometers b auf dem Maassstabe BC mit derjenigen des Siemens-Brenners V ein, während durch Signale und fortlaufende Zeitnotirungen die Gleichzeitigkeit der elektrischen und der Kraftmessungen gesichert wurde. Nach Beendigung dieser Arbeit wurden dann sämmtliche Beobachtungen in umgekehrter Reihenfolge wiederholt, also eine vollständige Beobachtungsreihe geschlossen durch Vergleichung des Einlochbrenners II mit der Normalkerze I.

Sämmtliche Gasflammen brannten während der ganzen Versuchsdauer und wurden, so lange sie nicht benutzt waren, durch undurchsichtige Schirme vollkommen abgeblendet.

Nachdem in den ersten Versuchstagen nach obigem Verfahren gearbeitet worden war, veranlassten die dabei gewonnenen Erfahrungen, die Untersuchungsmethode zu vereinfachen. Zunächst war die bei jeder Messung sich wiederholende Vergleichung der Helligkeit des Einlochbrenners mit der Kerzenflamme, wegen des schwer zu erreichenden völlig normalen Brennens der letzteren, ungemein mühsam und zeitraubend. Da nun nach den in der Gastechnik gemachten Erfahrungen die Helligkeit der Flamme eines Einlochbrenners bei constanter Flammenhöhe sehr constant ist, so wurde als Ausgangspunkt für die einzelnen photometrischen Messungen die Flamme des Einlochbrenners benutzt und die peinlichste Aufmerksamkeit auf constante Flammenhöhe gerichtet. Die directe photometrische Vergleichung von Kerze und Einlochbrenner wurde nur nach längeren Beobachtungsperioden vorgenommen.

Ferner hatten die Versuche ergeben, dass der Argand-Brenner kaum für längere Zeit auf ganz constanter Helligkeit zu erhalten war; da die directe Vergleichung der Helligkeit des Einlochbrenners II mit derjenigen des Siemens-Regenerativbrenners V auf dem 6 M. langen Photometermaassstabe AB durchaus keine Schwierigkeiten machte, so wurde der Argand-Brenner ausgeschaltet.

Anstatt aber jede Versuchsreihe zu beginnen und zu schliessen mit einer Vergleichung zwischen Einlochbrenner II und Siemens-Brenner V, konnten nun diese Messungen am Photometermaassstabe AB gleichzeitig mit der Vergleichung des Siemens-Brenners V und der Bogenlampe VI an dem Photometermaassstabe BC ausgeführt werden, so dass für jede Zeit der ganzen Versuchsdauer auch die Helligkeit des Siemens-Brenners, ausgedrückt in der Einheit des Einlochbrenners, ermittelt wurde.

Ebenso wurden dann die absoluten Bestimmungen der Helligkeit der Glühlampen IV nur durch Vergleich mit der Intensität des Einlochbrenners II ausgeführt.

Durch eine längere für sich ausgeführte Versuchsreihe wurde endlich das genaue Verhältniss der Intensität des Einlochbrenners zu derjenigen der englischen Normalkerze bestimmt.

Die Vergleichung der Helligkeit der Bogenlampen mit derjenigen des Siemens-Brenners geschah in folgender, der von Allard angegebenen ähnlichen, Methode, um trotz der Inconstanz der Intensität der Bogenlampen einen möglichst wahrheitsgetreuen Werth für ihre mittlere Helligkeit zu erhalten. Der Beobachter verschob,

den Schwankungen der Intensität der Bogenlampen folgend, fortwährend den Photometerschirm, so dass derselbe möglichst jederzeit richtig eingestellt war. In Zwischenräumen von 10, resp. 20 Secunden wurde dann ein Signal gegeben, auf welches hin der in diesem Augenblicke gerade eingenommene Stand des Photometerschirmes abgelesen wurde und in dieser Weise eine Reihe von 10, resp. 15 Beobachtungen gemacht. In die Beobachtungszeit fallen Maxima und Minima und trifft eines derselben wirklich mit einem Signale zusammen, so übt es auf das Mittel doch nur einen geringen Einfluss aus. Aus einer derartigen Beobachtungsreihe gewinnt man ausserdem ein Urtheil darüber, welche Schwankungen in der Intensität der elektrischen Lampe stattgefunden haben.

Die Gesichtspunkte, nach welchen die Resultate der in München gemachten photometrischen Beobachtungen durch E. Voit verwerthet wurden, sind die folgenden:

Will man ermitteln, welche Leistung eine elektrische Lampe ergiebt bei Anwendung einer gewissen elektrischen (oder dynamischen) Arbeit, so muss man die gesammte von der Lichtquelle ausgesandte Lichtmenge bestimmen. Zu diesem Zwecke nimmt man die Lichtquelle als im Mittelpunkte einer Kugel befindlich an und benutzt die Resultate der unter verschiedenen Richtungen gemachten Helligkeitmessungen zur Berechnung der auf die Oberfläche der Kugel fallenden Lichtmenge.

Da bei einer Bogenlampe die Helligkeit in der Horizontalebene constant und die Lichtquelle selbst als

Punkt anzusehen ist, so ist die auf den Umfang jeden Verticalkreises ausgesandte Lichtmenge

$$Q = \frac{df'}{r^2} \int i \, d\alpha,$$

wo df' ein Element der Kugeloberfläche, r der Radius und i die Helligkeit in der Richtung α ist.

Sind unter den nicht sehr von einander verschiedenen Winkeln α_1 und α_2 einer Verticalebene die Intensitäten der Bogenlampe i_1 und i_2, so kann man die Intensität innerhalb der von α_1 und α_2 eingeschlossenen Kugelzone als constant $= \frac{i_1 + i_2}{2}$ annehmen. Die auf diese Kugelzone fallende Lichtmenge ist dann

$$Q\,\alpha_1\,\alpha_2 = r^2\,\pi\,(\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1)\,(i_1 + i_2)$$

und die auf die ganze Kugeloberfläche fallende Lichtmenge

$$Q = r^2\,\pi\,\Sigma\,(\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1)\,(i_1 + i_2).$$

Versteht man nun unter der mittleren räumlichen Helligkeit I der Bogenlampe diejenige nach allen Richtungen constante Helligkeit, welche sie haben müsste, um die gleiche Lichtmenge auf die Kugeloberfläche auszusenden, so ist

$$I = \frac{Q}{4\,r^2\,\pi} = \frac{1}{4}\,\Sigma\,(\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1)\,(i_1 + i_2).$$

Bei einer Glühlampe sei die Intensität in dem Parallelkreise $\alpha_0 = O$ in der Richtung β_0 senkrecht zur Ebene des Kohlenfadens $= i_0$. Die Intensitäten i_{01}, i_{02} in anderen Richtungen β_1, β_2 u. s. w. sind dann im allgemeinen von i_0 verschieden, und die mittlere Helligkeit in dem horizontalen Parallelkreise α_0 ist

$$I_0 = \frac{1}{4 r \pi} \Sigma (\beta_1 - \beta_2)(i_{01} + i_{02}),$$

oder wenn $\beta_2 - \beta_1 = \beta_3 - \beta_2 \ldots = \beta_n - \beta_{n-1}$ ist,

$$I_0 = \frac{1}{2} \Sigma (i_{01} + i_{02}) = C \cdot i_0.$$

Da man nun bei einer Glühlampe annehmen kann, dass in jedem Parallelkreise das Verhältniss der Intensitäten dasselbe ist, wie in dem Parallelkreise $\alpha_0 = O$, da die Projection des Kohlenbügels sich gleichmässig ändert, so bleibt C für alle α constant und es ist die mittlere räumliche Helligkeit der Glühlampe

$$I = \frac{1}{4} C \Sigma (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1)(i_1 + i_2),$$

wobei die Intensitäten i alle in dem grössten Verticalkreise $\beta_0 = O$ gemessen sind.

Bei der Pariser Elektrischen Ausstellung im Jahre 1881 hatte man bei den Glühlampen die Helligkeit nur unter dem Winkel $\beta = 45^0$ gegen die Ebene des Kohlenbügels gemessen und diese Helligkeit als Mittel der horizontalen Intensität angenommen.

Wie weit dieses berechtigt war, zeigt folgende Betrachtung:

Die von einem Elemente df des Kohlenbügels auf ein Element df' der Kugeloberfläche ausgesandte Lichtmenge ist

$$q = i \frac{df \cdot df' \cos \beta \cos \beta'}{r^2},$$

wo β und β' die Winkel der Verbindungslinie von df und df_1 mit den Normalen auf df und df_1 bedeuten.

Wenn r sehr gross, also $\beta' = 90^0$ ist, so wird

$$q = i \frac{df'}{r^2} \int \cos \beta \, df.$$

Es sei, wie dieses bei den Edison-Lampen nahezu zutrifft, der Durchschnitt des Kohlenfadens rechteckig, in der Ebene des Kohlenfadens habe er die Breite a, in derjenigen senkrecht dazu b. Die Länge der beiden Seitenstützen sei $= v$ und das Verbindungsstück von der Länge h rechtwinkelig zu den beiden Seitenstützen.

Die in der Horizontalebene $\alpha_0 = O$ unter dem Horizontalwinkel β ausgestrahlte Lichtmenge ist dann

$$Q_{0\beta} = \frac{i\,df'}{r^2}\left\{2\,v\,(a\cos\beta + b\sin\beta) + a\,h\cos\beta\right\}.$$

Hieraus folgen

$$Q_{0\,45} = \frac{i\,df'}{r^2}\left\{\frac{2\,v\,(a+b) + a\,h}{\sqrt{2}}\right\}$$

und die gesammte in dieser Horizontalebene ausgestrahlte Lichtmenge

$$Q_0 = \frac{4\,i\,df'}{r^2}\int_0^{\frac{\pi}{2}} [2\,v\,(a\cos\beta + b\sin\beta)\;a\,h\cos\beta]\,d\beta.$$

Die mittlere horizontale Lichtmenge ist

$$Q_m = \frac{Q_0}{4\int_0^{\frac{\pi}{2}} d\beta} = \frac{i\,df'}{r^2}\left\{\frac{2\,v\,(a+b) + a\,h)}{\pi}\right\},$$

woraus folgt

$$\frac{Q_m}{Q_{0\,45}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0{\cdot}9003 = \text{Const.}$$

Dieses Gesetz ward durch die in München vorgenommenen Messungen an Edison- und Maxim-Lampen vollauf bestätigt, wenn auch wegen etwas von dem Rechtecke abweichenden Querschnitte des Kohlenfadens die Constante einen etwas von $\frac{2\sqrt{2}}{\pi}$ abweichenden Werth hatte.

Aus Obigem geht ferner hervor, dass das Maximum der Helligkeit in der Ebene des Kohlenfadens liegt, wenn $b > a$, und umgekehrt, ferner, dass bei kreisförmigem Querschnitte des Fadens (Müller- und Cruto-Lampe) die Helligkeit in der Horizontalebene nahezu constant sein muss.

In Bezug auf die Glühlampen seien von den Messungen, welche in München angestellt wurden, nur einige in folgenden Zahlen mitgetheilt, welche die Lichtvertheilung bei den Haupttypen angeben.

1. Drehung um die Verticalaxe.

	Edison A.	Müller	Cruto	Maxim	Swan
0°	0·998	1·043	1·076	1·002	1·010
22·5	1·014	1·038	—	0·972	0·905
45	1·199	1·043	1·027	0·837	0·890
67·5	1·195	1·015	—	0·733	0·980
90	1·201	1·016	0·947	0·403	1·064
112·5	1·209	1·030	—	0·564	1·077
135	1·175	1·028	0·935	0·710	1·093
157·5	1·009	1·011	—	0·925	1·101
180	0·965	1·031	0·946	0·982	1·025
202·5	1·053	1·031	—	0·936	0·951
225	1·165	1·020	0·961	0·876	0·927
247·5	1·176	0·999	—	0·862	0·950
270	1·163	0·963	0·929	0·303	1·023
292·5	1·166	0·965	—	0·503	1·027
315	1·126	0·959	0·988	0·764	1·068
337·5	1·018	0·982	—	0·870	1·039
360	1·047	1·000	0·987	0·998	0·959

2. Drehung um die Horizontalaxe.

	Edison A.	Müller	Cruto	Maxim	Swan
0^0	1·000	0·985	0·787	0·997	0·988
22·5	0·935	0·951	—	0·985	0·954
45	0·809	0·830	0·935	0·536	0·867
67·5	0·504	0·707	—	0·528	0·745
90	0·320	0·810	0·724	0·125	0·652

Fig. 37.

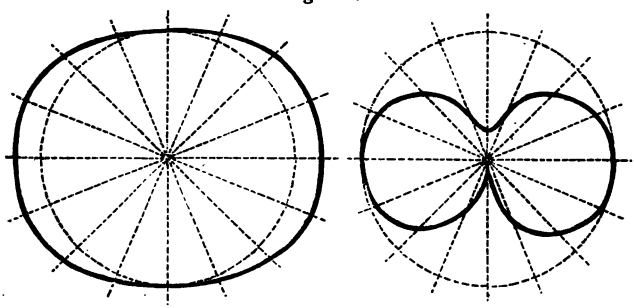
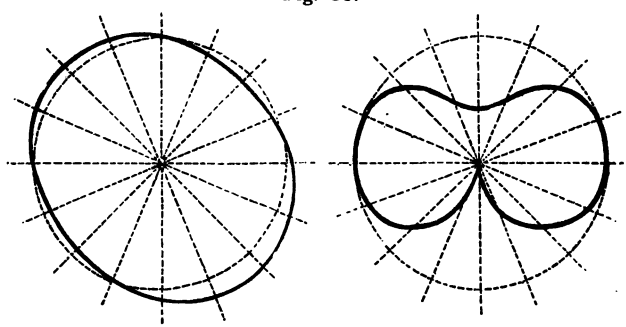


Fig. 38.



In Fig. 37 u. Fig. 38 sind die vorstehenden Messungsresultate für eine Edison- und eine Swan-Lampe dargestellt.

Die Resultate der absoluten Messungen an Glühlampen finden sich in folgender Tabelle:

Lampen	Mittlere räumliche Lichtstärke in N.-K.	Widerstand in Ohm	Potential-Diff. in Volt.	Stromstärke in Ampère	Elektrische Arbeit in		Mittlere räumliche Lichtstärke pro P.	Anzahl der Lampen pro P.
					Voltamp.	P		
Edison B .	11·69	67·68	55·78	0·825	46·02	0·0625	186·90	23·35 (8K)
» A.	15·32	139·60	103·05	0·755	77·80	0·1057	144·88	9·05 (16K)
Maxim .	13·34	47·01	65·07	1·384	90·06	0·1224	108·98	3·89 (28K)
Swan A .	10·95	31·91	38·38	1·222	46·90	0·0637	171·78	17·18 (10K)
Swan B .	37·17	87·03	118·02	1·282	151·30	0·2056	180·75	4·52 (40K)
Siemens .	14·90	104·72	95·74	0·915	87·60	0·1191	125·14	7·82 (16K)
Müller A .	18·43	58·62	74·04	1·263	93·51	0·1271	145·01	7·26 (20K)
» B .	43·08	59·52	105·22	1·779	187·19	0·2544	169·33	3·39 (50K)
» C .	102·35	65·41	155·15	2·367	367·24	0·4991	205·05	2·05 (100K)
Cruto . .	8·47	8·16	22·15	2·715	60·14	0·0817	103·58	10·36 (10K)

Voit berechnete dann noch die mittleren räumlichen Lichtstärken, welche durch die elektrische Arbeitseinheit erzeugt werden, und erhielt im Mittel folgende Werthe:

Edison A	0·0000376
» B	0·0001106
Kleine Swan	0·0000848
Grosse »	0·0000096
Maxim	0·0000148
Siemens	0·0000225
Kleine Müller	0·0000213
Mittlere »	0·0000067
Grosse »	0·0000021
Cruto	0·0000250

Die relativen Messungen an Bogenlampen ergaben im Mittel folgende Resultate:

Lampe von	Lichtstärken in der Richtung gegen den Horizont							
	0°	15°	20°	30°	40°	45°	50°	60°
Schuckert	248	619	—	1037	1238	1464	1124	788
Schwerd.	443	—	—	2859	—	3251	3250	1836
Crompton	452	1531	1116	2523	2116	3071	2155	1986
Schäffer	745	—	—	875	—	—	1168	1227

Wenn man die Lichtintensität in horizontaler Richtung als Einheit annimmt, erhält man:

Lampe von	Lichtstärken in der Richtung gegen den Horizont							
	0°	15°	20°	30°	40°	45°	50°	60°
Schuckert	1	2·5	—	4·2	5·0	5·9	4·5	3·2
Schwerd.	1	—	—	6·5	—	7·3	7·3	4·1
Crompton	1	3·4	2·5	5·6	4·7	6·8	4·8	4·4
Schäffer	1	—	—	1·2	—	—	1·6	1·6

1. Schuckert-Lampe.

Lichtausstrahlung	Lichtstärke in englischen Normalkerzen	Elektrische Arbeit dispon. an der Lampe in Voltamp.	Lichtstärke pro elektr. P. an der Lampe in engl. Normalkerzen	Lichtstärke pro dynam. P. an der Maschine in engl. Normalkerzen
In horizontaler Richtung	250	385	477	313
Maximalwerth (45°) . .	1464	—	—	1513
Mittlere räumliche Intensität	470	394	878	579

2. Schwerd-Lampe.

In horizontaler Richtung .	456	728	461	278
Maximalwerth (50°) . .	3250	811	2950	1836
Mittlere räumliche Lichtstärke	1145	751	1121	788

3. Crompton-Lampe.

In horizontaler Richtung .	560	920	448	382
Maximalwerth (45°) . .	3071	1164	1942	—
Mittlere räumliche Lichtstärke	1221	958	939	814

4. Schäffer-Lampe.

In horizontaler Richtung .	744	—	—	389
Maximalwerth (60°) . .	1227	—	—	634
Mittlere räumliche Lichtstärke	692	—	—	364

Man erhält für die Factoren, mit welchen man die Lichtintensitäten in horizontaler Richtung multipliciren muss, um die mittleren räumlichen Lichtstärken

zu erhalten, für die untersuchten Lampen folgende Werthe:

Schuckert	1·88
Schwerd	2·51
Crompton	2·18
Schäffer	0·93

Für diese vier Bogenlampen sind sodann noch die vorstehenden Beziehungen zwischen erzeugter Lichtmenge und aufgewendeter Arbeit gewonnen worden.

Bei der im Jahre 1883 stattgefundenen Wiener Elektrischen Ausstellung war die Anordnung der Photometerkammer, sowie die Versuchsmethode vollständig übereinstimmend mit den Arbeiten der Münchener Prüfungscommission, mit dem einzigen Unterschiede, dass anstatt der als Zwischenlichtquellen dienenden Gasbrenner hier Petroleumlampen angewendet wurden.

Von der Normalkerze wurde übergegangen auf eine Petroleumlampe von 13 Kerzen Helligkeit, welche sich durch Stunden constant erhielt. Hiemit wurde die Helligkeit der Glühlampen von Bernstein, Edison, Gatehouse, Gérard, Greiner & Fridrichs, Lane Fox, Lodiguine, Maxim, Müller, Puluj, Swan, Gebr. Siemens und Woodhouse-Rawson direct verglichen.

Bei den Messungen der Bogenlampen, von denen die Systeme Abdank-Abakanowicz, Cance, Klostermann, Neumann, Schwarz & Weil zur Verwendung kamen, trat an Stelle des Siemens'schen Regenerativ-Gasbrenners eine Intensiv-Petroleumlampe von 90 Kerzen Helligkeit, welche sich sehr gut bewährte.

Leider sind die Ergebnisse aller in Wien vorgenommenen Messungen bisher nur durch die den betreffenden Ausstellern übergebenen Certificate bekannt geworden, während ein zusammenfassender Bericht bis jetzt noch aussteht. —

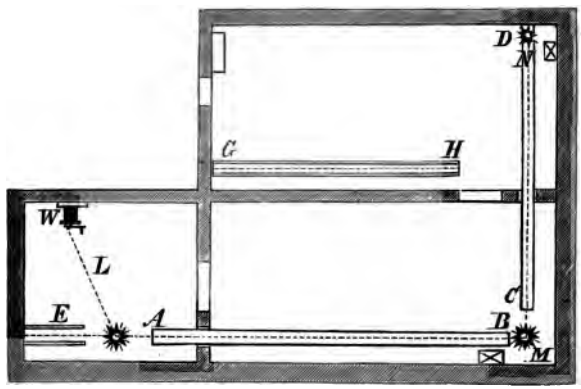
Nach der Münchener Elektrischen Ausstellung wurde zuerst an der technischen Hochschule in Darmstadt durch Professor Kittler ein elektrotechnisches Institut mit vorzüglichem photometrischen Laboratorium in's Leben gerufen und nach diesem Vorgange an den meisten technischen Hochschulen Deutschlands, Oesterreichs und zum Theil auch des Auslandes (Lüttich, Zürich, St. Petersburg etc.). Im wesentlichen dienten bei Einrichtung aller dieser photometrischen Laboratorien die betreffenden Anordnungen in München als Vorbild.

Als musterhafte Anstalt in der vorliegenden Beziehung ist die elektrotechnische Versuchsstation in München hervorzuheben.

Die grössere Photometerbank, welche zur Vergleichung der Bogenlampen dient, ist der bei den Untersuchungen während der internationalen Elektrischen Ausstellung im Jahre 1882 benützte Apparat. Die beiden Schenkel AB und CD (Fig. 39) der Photometerbank sind unter 90^0 gegen einander geneigt und liegen in drei Zimmern, so dass sie die beiden abschliessenden Wände des Mittelzimmers durchbrechen müssen. Die zu vergleichende Bogenlampe L, sowie das Verlängerungsstück E der Photometerbank, auf welchem der zu relativen Lichtmessungen an Bogenlampen dienende Silberspiegel aufgestellt wird, und ferner das äusserste Ende der Photometerbank befinden sich in einem kleinen durch eine Thür vollkommen

abzuschliessenden Zimmer. Das Licht der Bogenlampe gelangt durch eine runde Oeffnung der Zwischenwand zu dem im mittleren Zimmer befindlichen Bunsen-Photometer. Es wird bei dieser Anordnung jedes störende Seitenlicht weggenommen, während die durch Anwendung verschieden grosser Diaphragmen veränderliche Oeffnung gerade ausreichend ist, um den ganzen, von den Bogenlampen auf das Photometer fallenden Licht-

Fig. 39.



kegel ungehindert durchzulassen. Bei den relativen Lichtmessungen an Bogenlampen ist eine Verstellung derselben in verticaler Richtung nothwendig, es erfolgt dies mit Hilfe einer einfachen Windevorrichtung *W* und ist überdies, um die Lampen auch aus der Axenrichtung des Photometers schieben zu können, der Aufhängehaken seitlich zu verstellen. Eine seitliche Verschiebung der Lampe kann nämlich nöthig werden, wenn ein unterhalb derselben befindlicher Fortsatz das vom Spiegel reflectirte Licht verdecken würde.

Als Vergleichslichtquellen sind wie früher Gasflammen verwendet, und zwar Giroud-Brenner, deren Zweckmässigkeit hiefür schon nachgewiesen wurde. Zur Vermeidung grosser Druckschwankungen im Gaszutritt ist beim Eintritt der Gasleitung in die Beobachtungsräume ein Druckregulator eingeschaltet und ein Manometer zur Controle angebracht; überdies wird der Gasverbrauch jeder einzelnen Flamme durch eine Messgasuhr controlirt. Der eine Brenner *M*, welcher an dem Kreuzungspunkt der sich senkrecht schneidenden Photometer-Lineale aufgestellt ist, hat etwa eine normale Lichtstärke von 80 Normalkerzen, der kleinere, an dem der Bogenlampe entgegengesetzten Ende der Photometerbank befindliche Giroud-Brenner *N* besitzt eine Leuchtkraft von etwa 16 Normalkerzen. Die Vergleichung der Lichtstärken des kleinen und grossen Giroud-Brenners erfolgt mit einem zweiten Bunsen-Photometer, das sich auf der Bank *CD* bewegt, welche die zweite Seitenwand des Mittelzimmers durchbricht und sich zum grössten Theil in dem Nebenzimmer befindet.

Behufs Zurückführung der Lichtstärken auf bekannte Einheiten stehen der Station englische Normal-Wallrathkerzen, deutsche Vereinsparaffinkerzen, und Münchener Normal-Stearinkerzen, ein Parlamentary Standard Tested London Argand-Burner, sowie eine Hefner-Alteneck'sche Normallampe zur Verfügung.

Die Photometerbank *GH* für Glühlampen ist einem vom Verfasser construirten und zu den Beobachtungen während der Elektricitäts-Ausstellung zu München benutzten Apparate nachgebildet.

Der gewöhnliche bei solchen Photometern verwendete Einloch-Brenner ist durch einen Giroud-Brenner von etwa gleicher Leistung ersetzt, da derselbe den Vortheil einer fast vollkommenen Constanz besitzt. Zur Controlirung der Flammenhöhe, und damit bekanntlich, gleichzeitig der Lichtstärke dient überdies ein vom Verfasser construirtes optisches Flammenmaass. Bei den Bestimmungen der relativen Lichtstärken von Glühlampen ist die nach verschiedenen Richtungen durch die Glühlampen ausgestrahlte Lichtintensität zu ermitteln, zu diesem Behufe müssen die Glühlampen so gedreht werden können, dass sie dem Photometer allmälig alle verschiedenen Seiten zuwenden. Im vorliegenden Falle werden die Lampen auf einem Träger so befestigt, dass sie durch eine Art Kugelgelenk um ihren Mittelpunkt nach jeder Richtung zu drehen sind, und diese Drehung sodann an einem in horizontaler und einem zweiten in verticaler Ebene liegenden Theilkreise abgelesen werden kann.

Auf der zweiten Photometerbank ist ein weiterer Apparat angebracht, nämlich ein Spectro-Photometer, welcher nach Berathungen zwischen E. Voit und Verfasser vom letzteren construirt wurde.

Es ist wohl kaum nothwendig, hervorzuheben, dass, um jedes schädliche Seitenlicht zu vermeiden, die Wände der Photometerräume schwarz angestrichen und auch an allen Apparaten so viel als möglich glänzende Theile vermieden sind. Durch verschiedene Blendungen und Vorhänge ist überdies alles störende Licht abzuhalten.

Es mag noch bemerkt werden, dass für etwa nothwendig werdende Abschwächung des Stromes, der die

Glühlampen bedient, neben dem Photometer ein kleiner Kurbelrheostat angebracht ist. —

Als hervorragendstes elektrotechnisches Laboratorium des Auslandes mag noch dasjenige erwähnt werden, welches von der aus den grössten französischen Gasgesellschaften bestehenden Association pour l'Étude de l'Électricité zum Zwecke der Verfolgung der Fortschritte der Elektrotechnik auf dem Gebiete des Beleuchtungswesens unter der Leitung von D. Monnier im Jahre 1883 in Paris errichtet wurde. Mit besonderer Sorgfalt ist das Photometerzimmer eingerichtet. Photometer von Dumas und Regnault, von Sugg und Sabine, von Krüss, Napoli, Ayrton und Perry, von Crova, ja selbst das Selen-Photometer von Siemens und Halske stehen zur Verfügung. Ausser diesen Instrumenten sind die in der Gastechnik üblichen photometrischen Apparate vorhanden, wie Gasmesser, Regulatoren, Manometer, ferner eine umfassende Sammlung der verschiedensten Gasbrenner, endlich die in verschiedenen Ländern gebräuchlichen Maasseinheiten für Lichtmessungen.

Bei der Untersuchung von starken Bogenlampen werden Intensiv-Gasbrenner als Zwischenglied eingeschaltet zur Erleichterung und Erhöhung der Genauigkeit der Messung. —

Endlich wurden auf der internationalen Elektrischen Ausstellung in Philadelphia im Jahre 1884 ausgedehnte photometrische Messungen an Bogen- und Glühlampen vorgenommen.

Als Lichteinheit wurde ein Gas-Argand-Brenner mit einer Blende davor benutzt, welcher eine Helligkeit von 2 englischen Normalkerzen besass. Dieser Brenner

war an einem Ende einer Photometerbank von 0·45 Mtr. Länge aufgestellt, an dessen anderem Ende eine 50 Kerzen-Swan-Lampe stand, die als Zwischenlichtquelle diente. Sie wurde gespeist durch eine von der Brush-Gesellschaft gelieferte Batterie. Eine zweite Photometerbank stiess in einem Winkel an die erste und erstreckte sich in einen zweiten Raum, wo die zu prüfende Bogenlampe aufgehängt war.

Um Messungen des Lichtes, welches in verschiedenen Richtungen von der Bogenlampe ausgestrahlt wurde, zu gestatten, hing die Lampe an einem Arm, welcher um eine horizontale Axe parallel zur Photometerbank rotiren konnte und sich in solcher Höhe darüber befand, dass, wenn der Arm in horizontaler Lage war, der Lichtbogen der daran hängenden Lampe in einer Horizontalen mit der optischen Axe des Photometers war. Hiedurch beschrieb der leuchtende Punkt bei Drehung des Armes einen Kreis, auf dessen Mittelpunkt die optische Axe des Photometers senkrecht stand. Der Radius dieses Kreises war 0·127 Mtr. und die Entfernung seiner Ebene von der Swanlampe 0·64 Mtr.

In dem Mittelpunkte dieses Kreises befand sich ein drehbarer auf der Rückseite versilberter Glasspiegel. Auf diese Weise war die Entfernung der Lampe vom Spiegel für alle Stellungen der Lampe constant, und der Reflexionswinkel am Spiegel stets 45^0.

Zur Schwächung des von der Bogenlampe kommenden Lichtes wurde ein, dem von Hammerl angegebenen ähnlichen Apparat angewendet, welcher aus zwei Messingscheiben von 0·3 Mtr. Durchmesser bestand. Jede dieser Scheiben hatte 24 sectorenförmige Oeffnungen, welche

untereinander und mit den dazwischen liegenden Metallsectoren gleich gross waren. Beide Scheiben konnten gegen einander verstellt werden, um einen beliebigen Theil der Oeffnungen frei zu lassen.

Dieser Apparat wurde auf eine der Photometerbank parallele Spindel gesetzt, so dass das Licht der Bogenlampe durch die Oeffnungen gehen musste, um zum Photometerschirm zu gelangen. Wenn der Apparat in mässig schnelle Rotation versetzt wurde, war es unmöglich, ein Flackern oder eine Ungleichmässigkeit der Beleuchtung zu entdecken.

Die zu untersuchenden Glühlampen wurden, um die Helligkeit derselben in verschiedenen Richtungen des Raumes messen zu können auf einem besonderen Stative montirt. Die Resultate waren:

	Zahl der untersuchten Lampen	Volt	Lichtintensität in engl. Kerzen	
			mittl. sphär.	mittl. horiz.
Edison	31	97·57	15·47	19·24
Stanley	14	96·56	13·59	16·30
Woodhouse & Rawson	11	55·53	15·64	18·68
Wite	10	49·99	12·44	15·05
Weston	24	111·42	16·43	18·07

Sodann wurden Versuche über die Lebensdauer der Lampen gemacht und die nach 1000 Stunden unverletzten auf ihre Helligkeit wiederum geprüft. Hiebei ergab sich, dass die in Betracht kommenden Edison-Lampen nach diesen 1000 Brennstunden nur mehr im Durchschnitt 64% ihrer ursprünglichen Helligkeit besassen, die Stanley-Lampen 50%, eine Weston-Lampe 53%, eine andere nur noch 17%. —

Von besonderer Grossartigkeit waren die photometrischen Untersuchungen, welche in dem Jahre März 1884 bis März 1885 auf South-Foreland angestellt wurden. Es handelte sich dabei um die Vergleichung der Leistungsfähigkeit von elektrischem, von Gas- und Oellicht zur Beleuchtung der Leuchtthürme. Zu dem Zwecke waren drei Versuchsleuchtthürme errichtet und ein äusserst vollkommen ausgestattetes photometrisches Laboratorium in Gestalt einer 380 Fuss langen Photometer-Galerie in unmittelbarer Nähe der Leuchtthürme und drei Beobachtungshütten in 2150, 6200 und 13.000 Fuss Entfernung. Die benutzten Photometer waren meistens Bunsen'scher Art; als Lichteinheit wurde die Harcourt'sche Pentan-Gasflamme benutzt, als Zwischenlichtquelle ein grosser Brenner, dessen ausgestrahlte Helligkeit durch vorgesetzte Blenden mit verschieden grossen Oeffnungen beliebig verändert werden konnte.

Um bei schnell wechselnden Nebelzuständen der Atmosphäre, bei welchen Messungen nacheinander keine vergleichbaren Werthe ergaben, die Helligkeit zweier Leuchtthürme mit einander zu vergleichen, wurde von beiden durch eine Linse je ein Bild auf einem Schirm entworfen und die Helligkeit dieser beiden Bilder durch ein Polarisations-Photometer miteinander verglichen.

Die Helligkeiten, welche zu messen waren, hatten eine bedeutende Grösse, weshalb zum Theil zur Zerstreuung des Lichtes eine positive Linse nach dem Vorschlage von Hopkinson angewendet wurde. Die Helligkeit des von einer respective zwei magnet-elektrischen Maschinen gespeisten Bogenlichtes betrug im Mittel 10.000 respective 15.000 Kerzen, mit dem dazu gehörigen

Leuchtthurmapparat aber 1,250.000 respective 1,500.000 Kerzen.

Zum Schlusse dieses Abschnittes mögen noch kurz die in den letzten Jahren veröffentlichten Arbeiten auf dem Gebiete der elektrotechnischen Photometrie erwähnt werden, wenn auch wegen des näheren Inhaltes auf die einzelnen Veröffentlichungen selbst hingewiesen werden muss.

W. Möller veröffentlichte 1884 als Inauguraldissertation eine Untersuchung über die Intensitätsfläche der Glühlampen. Er bediente sich zu den Helligkeitsmessungen eines vereinfachten Wild'schen Polarisations-Photometers, bestimmte die Lichtvertheilung der Glühlampen in drei aufeinander senkrechten Ebenen und discutirte die Resultate in ähnlicher Weise wie solches im Münchener Bericht geschehen ist.

Eine Reihe von Arbeiten beschäftigen sich mit dem Verhältniss der erzielten Lichtmenge zur aufgewendeten Energie. Die ersten Beobachtungen über den Zusammenhang von disponibler Arbeit und Lichtstärke stammen von Andrew Jamieson. Aus den von demselben gegebenen Curven folgerte Voit, dass die Annahme, die Lichtintensität wachse mit der dritten Potenz der Arbeit, mit den beobachteten Werthen harmonire. Ist die von einer Glühlampe entwickelte Lichtmenge L und die entsprechende disponible Arbeit a, so wird die eben gemachte Annahme durch die Formel:

$$L = \alpha (a)^3$$

ausgedrückt, wobei α ein Coëfficient ist, welcher die von der Arbeitseinheit in der Lampe erzielte Lichtstärke dar-

stellt. Nach den Beobachtungen von Jamieson erhält man für die verschiedenen Lampen folgende Werthe der Coëfficienten:

1. Edison 7. B. . . . . $\alpha = 0{\cdot}000136$
2. British Electric Light Nr. 3 $= 0{\cdot}000116$
3. Lane Fox . . . . . $= 0{\cdot}000098$
4. Swan Nr. 1 . . . . . $= 0{\cdot}000073$
5. Maxim . . . . . $= 0{\cdot}000066$
6. Swan Nr. 11 (mattes Glas) . $= 0{\cdot}000042$

Diese empirische Formel fand Voit in den auf der Münchener Ausstellung gemachten Beobachtungen bestätigt, die Werthe von α für die verschiedenen dort untersuchten Glühlampen sind bereits Seite 203 gegeben. worden.

In Uebereinstimmung damit behauptet Bernstein, dass

$$\left(\frac{VA}{L}\right)^3 = K$$

sei, wo L die emittirte Lichtmenge in Normalkerzen, VA die dazu benöthigte Anzahl von Watts und K eine Constante ist von einem jeder Lampensorte entsprechenden Werth.

Führt man in obige Formel die Stromstärke I und den Widerstand W ein, so erhält man

$$\frac{(I^2 W)^3}{L} = K$$

oder

$$L = k I^6,$$

so dass also die Lichtmenge sich mit der sechsten Potenz der Stromstärke ändert, wie solches von Kittler, Abney und Preece bereits beobachtet war.

Alle diese empirischen Formeln gelten aber, wie ihre Urheber sämmtlich zugeben, nur innerhalb der für die Beleuchtung üblichen Grenzen, so lange sich der Widerstand gleichmässig mit der Intensität vergrössert. Darüber hinaus wächst die Lichtintensität schneller als die sechste Potenz der Stromstärke oder die dritte Potenz der aufgewendeten Arbeit.

W. Peukert machte photometrisch-calorische Untersuchungen über das Verhältniss zwischen den in einer elektrischen Lampe erzeugten Licht- und Wärmemengen; seine Endresultate sind die folgenden:

	Den leuchtenden Strahlen einer Lichteinheit äquiv. Energie	In Licht umgesetzte Energie
Glühlampen von Swan . . .	1·64 V. A.	28·1%
» » Siemens & Halske	1·60 »	27·9%
Edison	1·39 »	26·5%
Bogenlampe von Hefner-Alteneck	0·258 »	38·3%

Sodann hat Siemens ebenso wie die Philadelphia-Commission untersucht, in welcher Weise sich die Helligkeit einer Glühlampe bei längerer Brenndauer verändert.

Seine Versuche bezogen sich auf 10 Edison-Lampen, welche er bei der normalen Spannung von 96 Volt brennen liess. Dieselben zeigten im Laufe des Versuches ein Zunehmen des Widerstandes und in Folge dessen Abnahme der Helligkeit. Während bei Anfang des Versuches die Helligkeit 19·9 Normalkerzen betrug, war sie nach 800 Stunden auf nur 10·1 Kerzen, also 50%, gesunken; der Widerstand war um 12·7% gewachsen.

Die Ursache dieses Verhaltens liegt zum Theil in der Schwärzung der Glaskugel, zum wesentlichen Theile aber in einer Veränderung der Oberfläche des Kohlenfadens. Durch besondere Behandlung des Kohlenfadens gelang es Siemens Glühlampen herzustellen, deren Intensität bei derselben Versuchsanordnung wie oben nur von 17·5 auf 14·5 Normalkerzen herabging.

VI.

Der Glanz der Lichtquellen.

Bisher ist immer nur von der Helligkeit der Lichtquellen die Rede gewesen, ohne ihre Ausdehnung dabei zu berücksichtigen. Es ist aber augenscheinlich nicht einerlei, ob eine bestimmte Lichtmenge von einer kleinen oder von einer grossen Oberfläche ausgestrahlt wird. Das Verhältniss der von einer Lichtquelle ausgestrahlten Lichtmenge zur Grösse der Lichtquelle bezeichnet man als proportional ihrem Glanz.

Der Glanz G ist also darstellbar durch den Ausdruck:

$$G = \alpha \cdot \frac{J}{O}$$

wo J die ausgestrahlte Lichtmenge, O die Fläche der Lichtquelle, α ein Factor ist.

Wird demgemäss eine Bogenlampe von 1000 Kerzen Helligkeit ersetzt durch 1000 einzelne Kerzen, so ist die Gesammthelligkeit in beiden Fällen dieselbe, der Glanz aber in letzterem Falle viel geringer, da die Lichtmenge, welche bei der Bogenlampe von einer ganz kleinen

Fläche ausgestrahlt wird, sich bei den 1000 Kerzen über eine mehr als 1000mal grössere Oberfläche vertheilt.

Ebenso ist der Glanz ein verschiedener, je nachdem man eine Glühlampe von 16 Kerzen Helligkeit oder einen genau eben so hellen Gasbrenner hat; die Oberfläche der Flamme des letzteren ist bedeutend grösser als diejenige des Kohlenfadens der Glühlampe, also der Glanz entsprechend geringer.

Allard war der erste, welcher sich nicht nur mit der Helligkeit der von ihm untersuchten Lichtquellen beschäftigte, sondern auch mit ihrem Glanze.

Er fand für die zu Leuchtthurmzwecken benutzten 1—6dochtigen Oellampen folgende Zahlen für die Helligkeit in Carcel-Brennern pro Quadratcentimeter Oberfläche:

Anzahl der Dochte	1	2	3	4	5	6
Glanz	0·197	0·288	0·360	0·415	0·460	0·493

Hiemit verglich er den Glanz des elektrischen Bogenlichtes und der Sonne.

Er betrachtete das Licht einer elektrischen Bogenlampe als ausgehend von einer kleinen Kugel von 1 Cm. Durchmesser. Da seine Bogenlampe eine Helligkeit von 200 Carcel-Brennern hatte und die scheinbare Oberfläche jener kleinen Kugel 0·7854 Qu.-Cm. ist, so ist die Helligkeit des Bogenlichtes pro Quadratcentimeter 255 Carcel-Brenner, also der Glanz 500mal so gross als derjenige der 6dochtigen Oellampe.

In Bezug auf den Glanz des Sonnenlichtes benutzte er Messungen der Helligkeit der Sonne von Bouguer und von Wollaston. Bouguer hatte Mittags bei reinem

Himmel gefunden, dass die Sonne 11.664mal so hell sei, wie eine Kerze in 16 Zoll Entfernung, dieses giebt eine 62.280mal so grosse Helligkeit, wie eine Kerze in 1 Mtr. Entfernung. Wollaston fand die Helligkeit der Sonne gleich 5563 Kerzen in 0·3048 Mtr. Entfernung oder gleich 59.850 Kerzen in der Entfernung von 1 Mtr. Diese beiden Zahlen stimmen genügend überein, so dass Allard die Helligkeit der Sonne zu 60.000 Kerzen oder 6000 Carcel-Brennern in 1 Mtr. Entfernung annahm. Wegen der Absorption der Sonnenstrahlen in der Atmosphäre der Erde erhöhte er diese Zahl auf 8200 Carcel.

Denkt man sich nun in der Entfernung von 1 Mtr. eine kleine Kugel, welche wie die Sonne unter einem Winkel von 32 Minuten erscheint, so würde deren scheinbare Oberfläche 0·6805 Qu.-Cm. sein und in Folge dessen bei dem Sonnenlichte 12.050 Carcel-Brenner auf den Quadratcentimeter kommen. Der Glanz des Sonnenlichtes ist demgemäss 47mal so gross als der des elektrischen Bogenlichtes und etwa 25.000mal so gross als derjenige der 6dochtigen Oellampe.

Allard untersuchte auch das Verhältniss der Helligkeit der Lichtquellen zu dem cubischen Inhalt der Flammen unter geeigneter Berücksichtigung ihrer Transparenz. Bei der vollständig verschiedenen inneren Constitution der verschiedenen Lichtquellen — gasförmig bei den Kerzen und Oellampen, theilweise fest bei den Bogenlampen — sind die auf diese Weise gewonnenen Resultate jedoch weniger vergleichbar und lehrreich, als die Beziehungen zwischen der Helligkeit und der Oberfläche.

Bei den Versuchen, welche in den Jahren 1879 und 1880 mit elektrischen Lichtapparaten in Chatam angestellt wurden, wurde gleichzeitig die Front und die Seite der Kohlenspitzen photographisch aufgenommen und die Grösse der leuchtenden Fläche aus diesen Photographien berechnet.

Ferner hat Voit aus den photometrischen Messungen bei Gelegenheit der Münchener Elektricitäts-Ausstellung annähernde Schätzungen über den Glanz verschiedener Lichtquellen gemacht. Aus denselben geht hervor:

pro 1 Quadratmeter Oberfläche	Lichtstärke in Kerzen
Einlochgasbrenner	0·06
Argand	0·30
Kleiner Siemens-Regenerativbrenner	0·38
Grosse » »	0·60
Glühlampen	40
Bogenlampen	484

Die für die Bogenlampe gefundene Zahl, welche wie diejenige Allard's nur eine rohe Schätzung sein soll, stimmt mit der von Allard angegebenen Zahl, 225 Carcel = ca. 2000 Kerzen, durchaus nicht überein, was seinen Grund darin haben mag, dass Allard's Bogenlampe eine grössere Helligkeit hatte als diejenige, welche Voit seiner Schätzung zu Grunde legte.

Bei Gelegenheit der Wiener Elektrischen Ausstellung hat Voit photographische Aufnahmen von Glühlampen herstellen lassen, jedoch erschienen auf diesen Photographien die Kohlenfäden stark verzerrt, wahrscheinlich in Folge der unregelmässigen Form der

Glaskugeln, so dass sie zur genauen Ermittelung des Glanzes nicht zu verwenden waren.

Renk hat Photographien von Swan-Lampen und von Gasbrennern von der gleichen Helligkeit von

Fig. 40.

Fig. 41.

16 Kerzen hergestellt. Fig. 40 und Fig. 41 zeigen eine Swan-Lampe und einen Schnittbrenner, sowie eine Swanlampe und einen Argand-Brenner. Bei der Glühlampe treten die Reflexbilder auf, welche an der Innenseite der Glaskugel entstehen. Renk. schnitt die leuchtenden

Flächen der Photographien aus und bestimmte durch deren Gewichte das Verhältniss je zweier Flächen zu einander unter der Annahme gleicher Dicke des Papieres. Er fand das Verhältniss dieser Gewichte zu 1 : 11·8 im ersten, 1 : 7 im zweiten Falle und schloss daraus, dass der Glanz der Glühlampe 11·8 resp. 7mal so gross sei als derjenige eines Schnitt-, resp. Argand-Brenners.

Diese Schlussfolgerung weist mit Zwang auf eine Vernachlässigung hin, deren auch wir uns bisher haben zu Schulden kommen lassen. In Obigem wurde stets angenommen, dass die Lichtvertheilung über die ganze Oberfläche einer Lichtquelle eine gleichmässige sei. Dieses ist sie aber keineswegs. Aus Fig. 40 und 41 ist ohne Mühe ersichtlich, dass das Reflexbild bei weitem weniger hell ist, als der glühende Kohlenfaden selbst, wie es ja auch sein muss. Der Glanz beider ist also ein durchaus verschiedener und es ist unstatthaft, hier einen Durchschnittswerth anzunehmen, da er gar nichts aussagt. Bei den Gasflammen ist die Vertheilung der Helligkeit bekanntlich eine sehr ungleichmässige. Der ganze untere blaue Theil leuchtet verhältnissmässig sehr wenig, ebenso die Spitze. Es geben also alle bisher gegebenen Zahlen über den Glanz nur Durchschnittszahlen, nur Angaben über den mittleren Glanz der Lichtquellen. Es ist von vornherein aber anzunehmen, dass selbst bei Glühlampen der Glanz für die verschiedenen Stellen des Kohlenfadens ein verschiedener ist; nähere Untersuchungen hierüber fehlen bis jetzt ganz.

VII.

Das Maass der Beleuchtung.

Bisher ist ausschliesslich von der Bestimmung der Helligkeit der Lichtquellen selbst die Rede gewesen, nicht aber von der den beleuchteten Gegenständen selbst ertheilten Beleuchtungsstärke.

Bei der wirklichen Benutzung der Lichtquellen, bei Beleuchtungsanlagen, genügt jedoch die Kenntniss der Helligkeit der Lichtquellen allein nicht, um einen Maassstab für die thatsächlich erreichte Beleuchtung zu besitzen, es kommen hier noch weiter in Betracht die Entfernung der zu beleuchtenden Fläche von der Lichtquelle, die Grösse dieser Fläche, ihre Form und ihre Neigung zu den sie treffenden Strahlen. Dazu kommt ferner als sehr einflussreich für den Erfolg einer Beleuchtung die Oberflächenbeschaffenheit der zu beleuchtenden Fläche, nämlich der Grad ihrer Rauhigkeit, sowie ihre Farbe, und endlich darf der Einfluss des von benachbarten Flächen reflectirten Lichtes nicht übersehen werden.

Man sieht aus diesen kurzen Andeutungen schon, dass das Problem der Beleuchtung sich nicht so einfach gestaltet, wie die Bestimmung der Helligkeit einer Lichtquelle.

So viel Verfasser bekannt, wurden zuerst bei im Jahre 1881 in Rouen angestellten vergleichenden Versuchen über verschiedene Systeme elektrischer Beleuchtung nicht nur die absoluten Helligkeiten der Lichtquellen miteinander verglichen, sondern ein rationelles Maass für die Beleuchtung der Bodenfläche gesucht. Es

wurden nämlich bei diesen Vergleichungen für die einzelnen Lampen Curven construirt, deren Abscissen die Entfernungen von dem Fusspunkte der betreffenden Lichtquellen und deren Ordinaten die Intensität der Lichtquellen dividirt durch das Quadrat der Entfernung war.

Der Ausdruck $B = \frac{J}{D^2}$ bezeichnet die Intensität der Beleuchtung eines Punktes, welcher sich in der Entfernung D von einer Lichtquelle befindet, deren Helligkeit J ist.

Setzt man hierin $J = 1$ und $D = 1$, so ist $B = 1$, d. i. die Einheit der Intensität der Beleuchtung ist diejenige, welche erzeugt wird von der Einheit des Lichtes in der Einheit der Entfernung. Als Einheiten, welche hier zu Grunde zu legen sind, schlug Wybauw vor das Meter und den zehnten Theil der Helligkeit eines Carcel-Brenners; identificirt man diese letztere Helligkeit mit derjenigen einer Kerze, was ja fast zutreffend ist, so stimmt Wybauw's Vorschlag mit den schon vor ihm von L. Weber und von Preece gemachten, die Stärke einer Beleuchtung in Meterkerzen auszudrücken. Wybauw belegt diese Einheit mit dem Namen »lux«. Darnach würden die Ausdrücke 1 lux, 2 lux, 10 lux etc. bedeuten, dass mittelst irgend einer Lichtquelle dieselbe Wirkung erzielt wird, wie durch eine Kerze in 1 Mtr. Entfernung, oder die doppelte oder die zehnfache Wirkung.

Verfasser möchte jedoch nicht behaupten, dass die Einführung eines neuen Wortes hier ein unabweisbares Bedürfniss ist. Gerade so, wie man bei Bezeichnung

einer Arbeit von Kilogrammmetern spricht, kann man die Einheit der Beleuchtung Meterkerzen nennen; die Bedeutung dieses Wortes steht einem dabei klarer vor Augen, als wenn man das Wort lux einführt. Doch ist dieses vielleicht Geschmacksache und hat mit den grossen Vortheilen der Einführung einer solchen Einheit überhaupt wenig zu thun.

Diese Vortheile sind nicht gering. Man hat sich bisher bei Anlagen mit Gasbeleuchtung, um die erzielte Helligkeit auszudrücken, meist damit begnügt, die Gesammthelligkeit sämmtlicher Lichtquellen in einem Bahnhof, einer Halle, auf öffentlichen Plätzen etc. durch die Grösse der beleuchteten Bodenfläche zu dividiren. Da die Höhen der gewöhnlichen Gasflammen über dem Boden wenig verschieden sind, so liefert hier eine derartige Rechnung vielleicht genügend exacte Vergleichszahlen. Bei Anwendung starker elektrischer Bogenlampen aber, deren Höhe und Entfernung von einander sehr verschieden ist, genügt es nicht, die Intensität des von den Lichtquellen ausgehenden Lichtes zu bestimmen, sondern man muss die von der beleuchteten Fläche empfangene Helligkeit berechnen unter Berücksichtigung der Entfernung zwischen Lichtquelle und beleuchteter Fläche, man muss mit einem Worte die Stärke der Beleuchtung, ausgedrückt in Meterkerzen, feststellen.

Die Benutzung einer Beleuchtungseinheit erweist sich ferner als unumgänglich nothwendig, wenn man exacte Vorschriften über die Helligkeit geben will, welche zur Verrichtung gewisser Arbeiten: Nähen, Schreiben, Lesen etc. unumgänglich erforderlich ist. Es ist dieses ein Gebiet, welches bekanntlich in letzter Zeit von

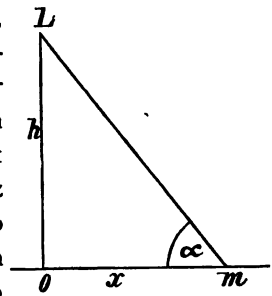
H. Cohn in Breslau mit Energie bearbeitet worden ist, hauptsächlich um Normen für die in Schulen unbedingt auf jedem Arbeitsplatz mindestens nothwendige Helligkeit festzusetzen, wenn anders das Sehvermögen der Schüler nicht geschädigt werden soll. Cohn bezeichnet die Stärke der Beleuchtung von 50 Meterkerzen als hinreichend, um eben so schnell und fliessend, wie beim Tageslicht lesen zu können; er verlangt als Minimum der hygienischen Forderungen 10 Meterkerzen und constatirt, dass die Helligkeit einer Meterkerze so gering ist, dass man kaum eine Zeile gewöhnlicher Zeitungsschrift in einer Minute entziffern, während ein gesundes Auge bei Tageslicht oder bei 50 Meterkerzen durchschnittlich in 1 Minute 16 solcher Zeilen lesen könne.

In ziemlicher Uebereinstimmung damit bemerkt Wybauw, dass im allgemeinen die Helligkeit von 15 bis 20 lux nothwendig sei, um fliessend und längere Zeit hindurch eine Zeitung in gewöhnlichen Lettern zu lesen und dass das Lesen einer Drucksache bei einer Beleuchtungsstärke, welche weniger als 1 lux beträgt, kaum möglich sei. Die Stärke der gewöhnlich üblichen Strassenbeleuchtung schätzt er nicht höher als $^1/_9$ lux, was ungefähr zutrifft für die Mitte zwischen zwei 25 Mtr. von einander entfernten Gaslaternen von je 10 Kerzen Helligkeit; für Hauptstrassen fordert er dagegen 1 lux, zu welchem Zwecke die Gasgesellschaften stärkere Brenner in grösserer Anzahl verwenden müssten, wie solches zum Theil in grösseren Städten schon jetzt geschieht.

Aus Vorstehendem ist ersichtlich, dass die Einführung einer Einheit der Beleuchtungsstärke die Mög-

lichkeit an die Hand giebt, die aus hygienischen Gründen oder zu Zwecken der Sicherung des Verkehres oder aus anderen Beweggründen für passend erachteten Forderungen an die Stärke einer Beleuchtung auszudrücken, unabhängig davon, in welcher Art und mit welchen Mitteln diese Beleuchtung später ausgeführt wird. Diese Forderungen zu erfüllen, ist dann Sache der betreffenden Techniker. Die letzteren sind aber durch derartige exacte Angaben bei weitem besser vor dem Misslingen einer Anlage geschützt wie bisher, wo das Gefühl, ob eine Beleuchtung hell genug sei oder nicht, fast den einzigen Richter bildete. Wohl ist die Schwierigkeit in der Gastechnik nicht so gross, eine zu gering ausgefallene Beleuchtungsanlage durch Anbringung einer grösseren Anzahl von Brennern zu verbessern, in der Elektrotechnik aber hat man meist mit ganz bestimmt begrenzten, nicht so leicht zu erweiternden Kraftmengen zu rechnen und es muss deshalb von entschiedenem Werthe sein, von vornherein vollständige Klarheit über die mit den vorhandenen Mitteln erreichbare Wirkung zu haben.

Fig. 42.



Ein Punkt m der Horizontalebene werde durch die Lichtquelle L beleuchtet. Die Höhe der Lichtquelle über der Horizontalebene sei h, die Entfernung des Fusspunktes O von dem Punkte m $Om = x$ und der Winkel $LmO = \alpha$: dann ist die Stärke der Beleuchtung des Punktes m durch die Lichtquelle L, wenn die Intensität der letzteren J ist,

$$B = \frac{J \sin \alpha}{h^2 + x^2} = \frac{J \cos \alpha^2 \sin \alpha}{x^2},$$

welche Gleichung Uppenborn bereits im Jahre 1880 aufstellte und später Folgerungen über die Vertheilung elektrischer Lampen daran knüpfte, worauf im Folgenden noch zurückzukommen sein wird. L. Weber nennt die Grösse B »die im Punkte m indicirte Helligkeit«, um damit das zu bezeichnen, was nach Lambert »illuminatio« ist, während Lambert's »claritas visa« die von m wieder ausgestrahlte, von der Oberflächen-Beschaffenheit abhängige Helligkeit sein würde. Weber schreibt vorstehende Gleichung auch:

$$B = \frac{Jh}{(h^2 + x^2)\sqrt{h^2 + x^2}}$$

und berechnet hieraus die Beleuchtungsstärke in Meterkerzen, die von 100 Normalkerzen ($J = 100$) bei verschiedenen seitlichen und Höhenstellungen (verschiedenen h und x) für ein horizontales Element m geliefert wird; die Resultate finden sich in folgender Tabelle:

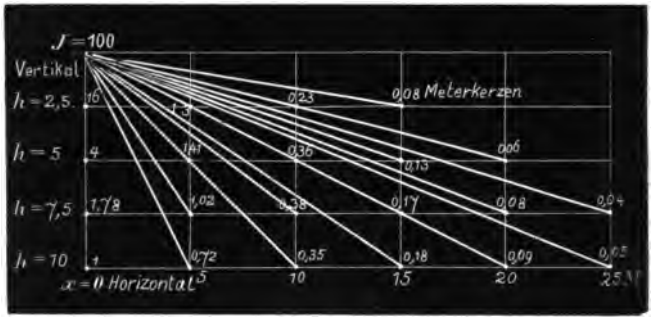
	Seitenlage					
Höhe	0 Mtr.	5 Mtr.	10 Mtr.	15 Mtr.	20 Mtr.	25 Mtr.
2·5 Mtr.	16	1·43	0·23	0·8	—	—
5	4	1·41	0·36	0·13	0·06	—
7·5	1·78	1·02	0·38	0·17	0·08	0·04
10	1	0·72	0·35	0·18	0·09	0·05
15	0·44	0·38	0·26	0·16	0·10	0·06

Fig. 43 zeigt diese Resultate in leicht übersichtlicher Weise; verbindet man hier die Punkte gleicher Beleuchtungsstärke, so sind die dadurch erhaltenen Curven die Orte für ein stets horizontales Flächen-

element, welches vom Ordinaten-Anfangspunkt aus die gleiche Lichtmenge erhält.

Der Werth B ist $= o$ für $\alpha = o$ und für $\alpha = 90^0$, d. h. für $h = o$ und für $h = \infty$. Zwischen diesen beiden

Fig. 43.



Werthen giebt es ein Maximum, welches sich durch Differentiation des Ausdruckes ergiebt.

Aus

$$\frac{J \cos \alpha}{b^2} (3 \cos^2 \alpha - 2) = O$$

folgt

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$\alpha = 35^0\, 16'$$

$$h = x \operatorname{tg} a = 0{\cdot}707 \ldots x$$

Macht man die Höhe h der Lichtquelle L also $=$ 0·707 der Entfernung des Punktes m vom Fusspunkte 0 der Lichtquelle, so erhält m die stärkstmögliche Beleuchtung.

Es soll nun die totale Beleuchtung der horizontalen Ebene berechnet werden. Es sei zuerst ein

Ring betrachtet, dessen Mittelpunkt im Fusspunkte der Lichtquelle liegt und welche zwischen zwei Kreisen mit den Radien x und $x + dx$ eingeschlossen ist. Die Oberfläche dieses Ringes ist, wenn man $(dx)^2$ vernachlässigt, $2\pi x\,dx$ und die Stärke der Beleuchtung

$$B = 2\pi x \frac{J \sin\alpha}{h^2 + x^2}\,dx = 2\pi J h \frac{x\,dx}{(h^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Die Beleuchtung eines vollen Kreises vom Radius x wird darnach sein:

$$B = \int_0^x 2\pi J h \frac{x\,dx}{(h^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Für $x = o$ wird $B = o$ und die Integration ergiebt

$$B = 2\pi J h \left\{ \frac{1}{h} - \frac{1}{\sqrt{h^2 + x^2}} \right\} \qquad 1)$$

Dieses ist totale Lichtmenge, welche ein horizontaler Kreis vom Radius x empfängt von einer Lichtquelle, deren Intensität J, und welche sich in der Höhe h senkrecht über dem Mittelpunkt des Kreises befindet.

Aus Betrachtung der Gleichung 1 ergiebt sich zuerst, dass für $\alpha = \infty$, $B = 2\pi J$ wird; h verschwindet aus der Formel, und man sieht, dass die totale Beleuchtung einer unendlich grossen Ebene einfach proportional der Intensität der Lichtquelle und unabhängig von der Höhe der Lichtquelle über die Ebene ist.

Die Hälfte der Gesammtbeleuchtung der unendlichen Ebene, also πJ entsteht, wenn $x = h\sqrt{3} = 1{\cdot}73\,h$ ist, sie fällt auf die Basis eines Kegels, dessen Seite 30^0 gegen die Horizontale geneigt ist.

Für $x = h$, also für den Lichtkegel von 90^0, wird $B = 1{\cdot}84\, J$.

Es fragt sich nun aber, ob man zu Resultaten geführt wird, die den Anforderungen der Praxis entsprechen, wenn man nur die Lichtmenge betrachtet, welche eine horizontale Ebene empfängt. Im allgemeinen soll nicht diese horizontale Ebene erleuchtet werden, sondern die Gegenstände, welche sich auf derselben befinden. Auf der Strasse sind es die Menschen und Wagen, in einem Saale die Menschen, Möbel etc., die beleuchtet werden sollen und nicht der Fussboden. Eine Zeitung oder ein Buch hält man selten horizontal, beim Schreiben liegt das Papier allerdings häufig wagerecht, aber im allgemeinen bieten die zu beleuchtenden Körper Flächen in allen Richtungen dar und es ist gar kein Grund vorhanden, warum man gerade nur die Beleuchtung horizontaler Ebenen betrachten will. Wenn man die Wirkung einer Beleuchtung beurtheilen will, so richtet man sein Augenmerk meist auf Flächen, welche normal zur Richtung der Strahlen liegen. Wenn vorher gefunden wurde, dass das Maximum der Beleuchtung in der Entfernung $x = \frac{h}{0{\cdot}707}$ vom Fusspunkte der Lichtquelle vorhanden ist, so scheint dieses überraschend, weil man z. B. gewohnt ist, eine um so stärkere Beleuchtung der zu lesenden Zeitung zu finden, je näher man sich zu der Lichtquelle hinbewegt. Der Grund dieser Wahrnehmung ist aber der, dass man das zu betrachtende Object meist normal zu den darauffallenden Lichtstrahlen hält, weil es dann das Maximum der Beleuchtung empfängt.

Dieses Maximum nennt Wybauw den vollständigen Nutzeffect einer Lichtquelle. Er wird grösser sein als die gesammte Lichtmenge, welche eine horizontale Ebene empfängt, und bestimmt sich leicht aus den vorhergehenden Entwickelungen über die Beleuchtung einer horizontalen Fläche, wenn man $\alpha = 90^0$ setzt. Dann wird

$$B' = 2\,\pi\,J \int_o^x \frac{x\,dx}{h^2 + x^2}$$

Die Integration ergiebt

$$B' = \pi\,J\,log\,nat\,\frac{h^2 + x^2}{h^2}$$

oder in Brigg'schen Logarithmen

$$B' = 7{\cdot}234\,J\,log\,\frac{h^2 + x^2}{h^2} \qquad 2)$$

Man sieht, dass hier für $x = \infty$ auch $B' = \infty$ wird, ein scheinbar widersinniges Resultat, wenn man bedenkt, dass die Gesammtlichtmenge, welche überhaupt von einer Lichtquelle ausgesandt wird, nur $= 4\,\pi\,J$ ist, nämlich das doppelte der nach Gleichung 1 von allen Elementen einer unendlich grossen geometrischen Ebene empfangenen Lichtmenge. Die Gleichung 2 ergiebt aber auch nicht diese Grösse, sondern den vollständigen Nutzeffect einer Beleuchtung in allen Punkten einer materiellen Ebene. Das Verschwinden des Factors *sin a* bedeutet eben, dass alle Strahlen als normal, also mit voller Intensität auffallend, angenommen werden, so dass also die Lichtquelle ersetzt erscheint durch eine leuchtende, zur beleuchteten Ebene parallelen Ebene, deren Helligkeit für jeden Punkt der beleuchteten Ebene mit dem Quadrate der Entfernung vom Mittelpunkte abnimmt.

Einige besondere Werthe von B' sind noch die folgenden:

Für $x = 0{\cdot}6124\,h$ wird $B' = J$,
» $x = h$ » $B' = 2{\cdot}177\,J$,
» $x = h\sqrt{3}$ » $B' = 4{\cdot}354\,J$,
» $x = 1{\cdot}3115\,h$ » $B' = \pi J$;

die äussersten Strahlen treffen im letzten Falle die Ebene unter dem Winkel $52^0\ 40'$, während bei $B = \pi J$ (Gleichung 1) dieser Winkel $= 60^0$ ist.

Die Gleichung 2) wird stets in der Praxis anzuwenden sein, wenn man die Wirkungen mehrerer Beleuchtungsanlagen mit einander vergleichen will. Zu diesem Zwecke hatte Crompton empfohlen, Beleuchtungskreise zu bilden, etwa in der Weise, dass der Umfang des ersten denjenigen Raum enthalte, in welchem man überall gut eine in günstigster Lage befindliche Zeitung lesen könne, dass zwischen den Umfängen des ersten und des zweiten Kreises eine solche Helligkeit herrsche, dass man die Gesichtszüge einer mit dem Gesicht gegen die Lichtquelle gewendeten Person erkennen könne, dass in der dritten Zone die grossen Buchstaben der verticalen Maueranschläge noch gelesen werden können u. s. f. Jetzt würde man nach den Vorschlägen von Weber, Preece und Wybauw die Anzahl Meterkerzen (*lux*) bestimmen, welche auf jedes Element der zu beleuchtenden Fläche fallen, jedoch, wie in den Beispielen Crompton's, diese Fläche stets normal zu den darauf fallenden Lichtstrahlen gedacht; die Summe des Inhalts dieser Elemente, multiplicirt mit den betreffenden Beleuchtungsintensitäten, würde die Gesammtleistung für die betrachtete Fläche sein. Die Gleichung 2) giebt nun für

B^1 die Summe dieser Nutzeffecte für eine Kreisfläche vom Radius x, wenn senkrecht über dem Mittelpunkte in einer Höhe h sich eine Lichtquelle von der Helligkeit J befindet.

Den Ausdruck für B' in Gleichung 2 nennt Wybauw das Beleuchtungsvolumen, ähnlich wie Rousseau die Summe der Helligkeiten einer Lichtquelle nach allen Richtungen ihr photometrisches Volumen nennt. Die Formel

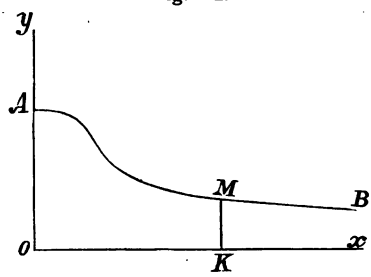
$$B' = 2\pi J \int_0^x \frac{x\,dx}{\sqrt{h^2+x^2}^3}.$$

stellt folgendes Volumen dar. Macht man (Fig. 44) $OK = x$, $KM \perp OK$ und $KM = \frac{J}{\sqrt{h^2+x^2}^2}$, so bilden die Punkte M für alle Werthe von x eine Curve von der Form AMB. Befindet sich in dem Punkte K der Horizontalebene das zwischen den Kreisumfängen von den Radien x und $x+dx$ gelegene Element $dx\,ds$, so ist das Volumen des Prismas, dessen Basis $dx\,ds$ und dessen Höhe KM ist, $= \frac{J}{\sqrt{h^2+x^2}^2} \times dx\,ds$, und das Volumen des Cylinders, welcher den ganzen Ring zur Basis hat $= 2\pi J \frac{x\,dx}{\sqrt{h^2+x^2}^3}$; endlich ist das Intrepal $2\pi J \int_0^x \frac{x\,dx}{\sqrt{h^2+x^2}^3}$ das Volumen des Revolutionskörpers (um die Axe Oy), welcher eingeschlossen wird von der Oberfläche $AMKO$.

Die Betrachtung der Fig. 44 zeigt, dass die Vertheilung des nützlichen Beleuchtungseffectes im allgemeinen derart ist, dass die Wirkung in der Nähe der

Lichtquelle eine bedeutend grössere ist, als in weiterer Entfernung — eine sehr bekannte Thatsache. Die Steilheit der Curve *A M*, also die Grösse des in Betracht kommenden Unterschiedes in der Stärke der Beleuchtung, hängt von der Höhe *h* der Lichtquelle über der zu beleuchtenden Fläche ab. Diese Höhe ist besonders von Wichtigkeit für die starken elektrischen Bogenlichter, bei welchen die Helligkeit am Fusse der Stangen oder Masten, welche sie tragen, stets bei weitem die zu machenden Ansprüche übertrifft, so dass man sein Augenmerk nur auf die Stärke der Beleuchtung in einiger Entfernung zu richten hat. Ein Bogenlicht von 1000 Kerzen Helligkeit liefert bei einer Höhe von 8 Metern an seinem Fusse eine Stärke der Beleuchtung von 15·6 Meterkerzen, in 30 Meter Entfernung von diesem Fusspunkte eine solche von 1·04 Meterkerzen. Bei 16 Meter Höhe ist die Beleuchtung an diesen beiden Punkten 3·6 und 0·9 Meterkerzen stark. Während also in 30 Meter Entfernung die Stärke der Beleuchtung sich in kaum wahrnehmbarer Weise ändert, ist sie auf der ganzen beleuchteten Fläche bedeutend gleichmässiger geworden bei Erhöhung der Lampe von 8 auf 16 Meter. Ausserdem ist die Möglichkeit des Blendens dadurch bedeutend verringert. Es ist also in dem Falle der Höhe der Lampe von 8 Meter in der Nähe der Lampe ein unnützer Ueberfluss an Helligkeit vorhanden, welcher der Gleichmässigkeit der Beleuchtung schadet.

Fig. 44.



Dieser Ueberfluss der Beleuchtung in der Nähe der Lichtquelle ist ein Umstand, welchen man beim Vergleich zweier Beleuchtungsanlagen nicht aus dem Auge lassen sollte. Die Gleichung 2 giebt den ganzen Nutzeffect einschliesslich obigen Ueberflusses und es fragt sich, ob es nicht rationell sein dürfte, in die Rechnung aus obigem Grunde eine Correction einzuführen. Zu diesem Zwecke müsste man zuerst festsetzen, über welche Beleuchtungsstärke hinaus eine Beleuchtung als überflüssig zu bezeichnen ist.

Setzt man diese Grenze $= n$ Meterkerzen, so erhält man den Radius x des Kreises, welcher die überflüssige Beleuchtung einschliesst, aus der Gleichung:

$$\frac{J}{h^2 + x^2} = n$$

woraus

$$x = \sqrt{\frac{J}{n} - h^2} \text{ wird.}$$

Nach Gleichung 2 ist die ganze Beleuchtung im Innern dieses Kreises, wenn man für x vorstehenden Werth setzt:

$$B' = \pi J \, log \, nat \, \frac{J}{\pi h^2}$$

Hievon muss abgezogen werden die Beleuchtung von n Meterkerzen der Oberfläche des Kreises $\pi \left(\frac{J}{n} - h^2\right)$, nämlich $\pi (J - n h^2)$, so dass die Grösse der überflüssigen Beleuchtung wird:

$$U = \pi J \, log \, nat \, \frac{J}{n h^2} - \pi (J - n h^2)$$

Subtrahirt man U von B' (Gleichung 2) so erhält man

$$B'' = \pi J \left(log\,nat \frac{h^2 + x^2}{h^2} - log\,nat \frac{J}{n\,h^2} \right) + \pi (J - n\,h^2)$$

$$= \pi J\, log\,nat\, n \frac{(h^2 + x^2)}{J} + \pi (J - n\,h^2)$$

$$\text{oder } B'' = 7{\cdot}234\, log\, n \frac{(h^2 + x^2)}{J} + \pi (J - n\,h^2) \qquad 3)$$

Giebt man n einen bestimmten Werth, also für öffentliche Beleuchtung nach Wybauw's Vorschlag etwa den Werth 10 (Meterkerzen), so ergiebt Gleichung 3) für B'' den wirklich nützlichen Beleuchtungseffect in des Wortes wahrster Bedeutung.

Ist der Radius x eines zu beleuchtenden Kreises gegeben, so erhält man die Höhe h, für welche dieser Nutzeffect ein Maximum ist, aus der Gleichung:

$$\frac{d\,B''}{dx} = 2\,\pi\,h \left(\frac{J}{h^2 + x^2} - n \right) = o$$

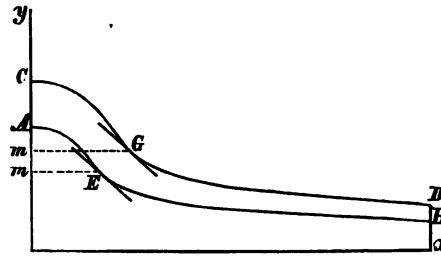
$$h = \sqrt{\frac{J}{n} - x^2}$$

Die Höhe ist natürlich abhängig von der Intensität J, da es sich um Erzielung einer bestimmten Beleuchtungsstärke handelt.

Vergleicht man zwei Beleuchtungen, deren Beleuchtungscurven $A\,B$ und $C\,D$ sind (Fig. 45), auf Grund von Gleichung 3 mit einander, so ist es nach Wybauw's Meinung nicht rationell, für beide eine gleiche Grösse von n anzunehmen, d. h. für beide Curven gleich grosse Ordinaten zu wählen, welche die Grenze der überflüssigen Beleuchtung bezeichnen. Man sollte die Ordinate so wählen, dass sie solchen Punkten G und E der beiden

Curven entsprechen, in welchen die Beleuchtungsstärken mit derselben Schnelligkeit wachsen, oder mit anderen Worten, in denen die Tangenten an den Curven einander parallel sind, so dass also die Volumina $A\ E\ m$ und $C\ G\ m'$ die einander entsprechenden überflüssigen Beleuchtungsmengen der beiden Lichtquellen darstellen würden.

Fig. 45.



Wählt man für die eine Lichtquelle $x = m\ E$ als Radius des Kreises, welcher die überflüssige Beleuchtung einschliesst, und bildet die Tangente in E mit der x-Axe den Winkel α, so lässt sich $m'\ G = x'$ finden.

Die Gleichung der Curve $C\ D$ sei

$$y' = \frac{J'}{x'^2 + h'^2}$$

dann wird

$$\frac{dy'}{dx'} = -\frac{2J'x}{(x'^2 + h'^2)^2} = tg\,\alpha$$

Diese Gleichung 4. Grades lässt sich nicht direct auflösen, so dass es weit bequemer und für die Praxis hinreichend genau erscheint, sich die beiden Beleuchtungscurven aufzuzeichnen und den Punkt G durch Construction einer Tangente an die Curve $C\ D$, welche

parallel der Tangente im Punkte F an die Curve $A\,B$ ist, zu bestimmen. —

In einer Strasse befinden sich die Lichtquellen, bei grosser Entfernung von einander, in gerader oder beinahe in gerader Linie, so dass man sich im allgemeinen nur Rechenschaft zu geben braucht von dem Minimum der Beleuchtung zwischen zwei auf einander folgenden Lichtquellen. Sind die beiden Lichtquellen in gleicher Höhe angebracht und besitzen sie die gleiche Helligkeit, so liegt dieses Minimum natürlich in der Mitte zwischen beiden.

Bei gleicher Gesammtlichtmenge und gleicher Höhe wird die grösste Gleichförmigkeit einer Beleuchtung durch eine möglichst grosse Anzahl von Lichtquellen erreicht. Das Verlangen nach Gleichförmigkeit wird also nicht befriedigt werden können durch eine kleine Anzahl mächtiger Bogenlampen.

Sind z. B. Lichtquellen von 2000 Kerzen Helligkeit in Höhen von 10 Meter und in Entfernungen von 100 Metern von einander aufgestellt, so wird die Minimalbeleuchtung sein

$$B\,min = 2 \times \frac{2000}{\overline{50^2 + 10^2}} = 1{\cdot}54 \text{ Meterkerzen},$$

die Maximalbeleuchtung

$$B\,max = \frac{2000}{10^2} = 20 \text{ Meterkerzen}.$$

Ersetzt man diese Lichtquellen durch die doppelte Anzahl von je ein Viertel so grosser Helligkeit, also von 500 Kerzen, 50 Meter von einander entfernt, so werden

$$B\,min = 2 \times \frac{500}{\overline{25^2 + 10^2}} = 1{\cdot}38 \text{ Meterkerzen},$$

$$B\,max = \frac{500}{10^2} = 5 \text{ Meterkerzen.}$$

Das Minimum der Beleuchtung ist fast dasselbe, die Gleichmässigkeit grösser, die überflüssige Lichtmenge geringer und die im ganzen zu erzeugende Lichtmenge nur die Hälfte, so dass auch die Kosten geringer sein werden. Aus diesen Gründen scheint es unangemessen, die Beleuchtung von Strassen mit grossen elektrischen Bogenlampen ausführen zu wollen. Ein Theil des von diesen ausgesandten Lichtes erleuchtet allerdings noch die Façaden der Häuser und durch Reflexion wieder die Strasse, jedoch ist die Helligkeit dieses reflectirten Lichtes am stärksten in der Nähe der Lichtquellen und wird verschwindend klein zwischen je zwei Lampen, so dass es nur dazu beiträgt, die Ungleichmässigkeit der Beleuchtung zu erhöhen.

Im Gegensatz zu der Beleuchtung einer Strasse sind bei Beleuchtung eines Platzes die starken Lichtquellen im Vortheil vor den geringen. Soll ein Platz durch eine Anzahl von Lampen beleuchtet werden, so ist es augenscheinlich am besten, dieselben so zu vertheilen, dass sie an den Ecken von gleichschenkligen Dreiecken zu stehen kommen, wie solches schon früher von Uppenborn empfohlen wurde. Das Maximum der Beleuchtung wird dann im Schwerpunkte jeden Dreieckes vorhanden sein. Ist h die Höhe der Lichtquellen über dem Boden, a die Entfernung derselben von einander, so wird

$$B\,min = 3 \times \frac{J}{h^2 + \frac{1}{3} a^2}$$

Setzt man z. B.

$$J = 800 \text{ Kerzen}$$
$$a = 54\ m$$
$$h = 8\ m\ .$$

so wird

$$B\,min = 0{\cdot}94 \text{ Meterkerzen}$$
$$B\,max = 12{\cdot}5 \quad »$$

Stellt man nun die Beleuchtung desselben Platzes mit dreimal so starken Lichtquellen in ein Drittel so grosser Anzahl her, so werden die Seiten der neuen gleichseitigen Dreiecke $= a\sqrt{3}$ sein müssen und es wird demzufolge

$$B\,min = 3 \times \frac{3\,J}{h^2 + a^2} = 3 \times \frac{J}{\frac{1}{3}h^2 + \frac{1}{3}a^2}.$$

Diese Beleuchtung ist augenscheinlich stärker als im ersten Fall. Für obiges Beispiel wird

$$B\,min = 1{\cdot}12 \text{ Meterkerzen}$$
$$B\,max = 37{\cdot}5 \quad »$$

Soll die Minimalbeleuchtung nicht grösser werden, sondern dieselbe bleiben wie im ersten Falle, so muss sein

$$\frac{J}{h^2 + \frac{1}{3}a^2} = \frac{x\,J}{h^2 + a^2}.$$

oder

$$x = \frac{h^2 + a^2}{h^2 + \frac{1}{3}a^2},$$

also bei $h = 8$ und $a = 24\ m$ wird $x = 2{\cdot}5$; d. h. um dasselbe Minimum der Beleuchtung des Platzes mit nur einem Drittel der Lichtquellen herzustellen, genügt es, jeder dieser Lichtquellen eine 2·5mal so grosse Helligkeit zu geben. Die Vertheilung des Lichtes ist in diesem Falle

allerdings eine andere geworden; während die Minima dieselben blieben, ist die Summe der Beleuchtung vergrössert worden.

Will man, bei gleich grosser erzeugter Lichtmenge, in beiden Fällen dieselbe Gleichförmigkeit der Beleuchtung, so muss man im zweiten Falle die Höhe der Lichtquellen vergrössern, nämlich auf $h\sqrt{3}$. Dann wird wieder

$$B\,min = 0{\cdot}94 \text{ Meterkerzen}$$
$$B\,max = 12{\cdot}5 \quad »$$

wie im ersten Falle. Die dreimal so starken Lichtquellen ergeben dieselben Beleuchtungs-Minima und -Maxima, aber die Vertheilung der Beleuchtung ist trotzdem eine gleichförmigere, da die Anzahl der Lichtquellen eine geringere ist und in Folge dessen die Orte, welche die stärkste Beleuchtung erhalten, weiter auseinanderliegen; die Beleuchtungscurven sind flacher.

Besser als durch die Rechnung wird man sich mit leichter Mühe durch Zeichnung der Curven des Nutzeffectes einer Beleuchtung ein klares Bild von der Vertheilung des Lichtes herstellen. Allerdings haben die elektrischen Bogenlampen die Eigenschaft, dass nicht in alle Richtungen einer Verticalebene die gleichen Lichtmengen ausgesandt werden, ein Umstand, welcher beim Entwerfen der Beleuchtungscurven zu berücksichtigen ist. Jedoch wird diese Ungleichmässigkeit zum Theil durch die Wirkung der die Lichtquelle umgebenden matten Glasglocken ausgeglichen.

Die für Strassen und Plätze wirklich erforderliche Beleuchtung ist eine verhältnissmässig geringe; jedoch wird man leicht dazu verleitet, in Bezug auf dieselbe

zu viel zu verlangen, und zwar durch den Vergleich mit der Beleuchtung der Innenräume unserer Häuser. Während bei Tage die Helligkeit im Freien grösser ist, als im Hause, kehrt sich dieses Verhältniss bei Nacht um, so dass wir stets die Strasse verhältnissmässig schwach beleuchtet finden werden. —

Das Problem der Beleuchtung complicirt sich in eigenthümlicher Weise, wenn es sich um geschlossene Räume handelt. Es treten hier neue Elemente in's Spiel, welche sich zum Theil keiner Rechnung oder auch nur Schätzung unterwerfen lassen.

Wir pflegen die Stärke einer Beleuchtung zu beurtheilen nach dem Eindruck, welchen auf uns die Helligkeit und die Anzahl der Lichtquellen machen, ebenso wie nach der Anzahl, der Oberfläche und Beleuchtungsstärke der beleuchteten Gegenstände, welche selbst als leuchtende Oberflächen auftreten. Es erscheint hier neben der Beleuchtungswirkung noch ein anderes Element, welches Wybauw die Illuminationswirkung (l'effet d'illumination) nennt; letztere ist allerdings eine Folge der ersteren, aber sie lässt sich von derselben nicht rechnerisch ableiten, ist aber trotzdem im Stande, unser Urtheil über eine Beleuchtung maassgebend zu beeinflussen. Zahlreiche Flammen eines Kronleuchters machen den Eindruck einer bedeutend grösseren Lichtmenge als eine einzelne Lichtquelle, deren Helligkeit gleich der Summe der Intensitäten der einzelnen Flammen ist. Zwei Gasflammen oder zwei elektrische Lampen können von sehr verschiedener Helligkeit sein; wenn sie nicht ganz benachbart sind, können sie auf unser Auge denselben Eindruck machen. Das Licht einer einfachen Kerze ist

in klarer Nacht in der beträchtlichen Entfernung von 500 Mtr. noch sichtbar, während ihre Beleuchtungswirkung in solcher Entfernung nicht wahrnehmbar ist. Derartige Illuminationswirkungen haben nichts Gemeinsames mit der Beleuchtungswirkung, trotzdem tragen sie in wichtiger Weise zum Gesammteindrucke einer Beleuchtung bei und fordern Berücksichtigung.

Ebenso ist das diffuse Licht in geschlossenen Räumen ein sehr schwer bestimmbares Element. Wir theilen ihm eine Wichtigkeit zu, welche verschwindet, sobald man es durch den Vergleich mit directem Lichte misst. Werden in einem Saal die Gasflammen mit matten Glasglocken bedeckt, so empfängt man leicht den Eindruck einer stärkeren Beleuchtung, als in der That vorhanden ist; erst wenn man ein Zeitungsblatt in die Hand nimmt, merkt man das Ungenügende der Beleuchtung durch diese Glasglocken, die bis zu 40—60% Licht absorbiren. Häufig kaufen sich Ladenbesitzer zur Verbesserung der Beleuchtung ihrer Schaufenster matte Glasglocken; sie machen bald die Erfahrung, dass sie an Illuminationswirkung gewonnen, an Beleuchtungswirkung aber beträchtlich dadurch verloren haben.

Eine das Licht diffus zerstreuende Oberfläche wird, wenn beleuchtet, in ihrer ganzen Ausdehnung zu einer Lichtquelle; alle ihre Punkte senden Licht in allen Richtungen aus und sie erscheint bedeutend heller, als eine vollständig reflectirende Fläche, wie ein Spiegel, obgleich letzterer bedeutend mehr Licht zurückwirft als erstere.

Die Stärke des von einer Fläche reflectirten Lichtes hängt von dem Maasse der Rauheit der Fläche ab. Dieses diffus reflectirte Licht ist ein mächtiger Hilfsgenosse bei

der Beleuchtungswirkung einer Lichtquelle. Es giebt dem Tageslicht seine grosse Ueberlegenheit vor der künstlichen Beleuchtung. Letztere beleuchtet die Gegenstände in einer einzigen Richtung und lässt die nicht direct beleuchteten Gegenstände in starkem Schatten.

Dieses tritt namentlich störend auf bei Beleuchtung von Innenräumen durch einzelne starke Bogenlichter und es darf als glücklicher Ausweg angesehen werden, das Licht derselben gegen die weisse Decke des Raumes zu reflectiren, so dass die diffus reflectirende Oberfläche derselben die den Raum erleuchtende Lichtquelle bildet. Diese Anordnung wurde, soweit Verfasser bekannt, zuerst in der Pariser Elektricitäts-Ausstellung von J. Jasper vorgeführt.

Bei der Beleuchtung geschlossener Räume muss man die Menge des diffus reflectirten Lichtes in Rechnung ziehen. Ein hoher Saal mit dunkelgetäfelten Wänden mit einer in Felder getheilten Holzdecke bedarf bedeutend mehr Licht als ein Ballsaal derselben Grösse, aber mit weissen Wänden und weisser Decke. In einem Raume ohne eine irgend diffus reflectirende Fläche, also etwa im Innern einer ganz matt schwarz ausgestrichenen Photometerkammer, lässt selbst eine starke Lichtquelle alles zu wünschen übrig. Man erkennt kaum die Gegenstände in einem solchen Raume, da nur immer eine Seite derselben beleuchtet ist. Eine derartige Beleuchtung wäre in hohem Grade unvollkommen.

Die Beleuchtung kleiner Räume, wie unserer Wohnungen, in denen auf kleinem Raum die verschiedenartigsten Gegenstände von den verschiedensten Reflexionsvermögen zusammengedrängt sind, entzieht sich vollständig der mathematischen Behandlung.

Um in grossen Räumen den Einfluss des diffus reflectirten Lichtes zu bestimmen, experimentirte Wybauw in einem 6·5 Mtr. hohen und 10 Mtr. langen Saale eines zum Abbruch bestimmten Hauses. Er liess eine der Längswände weiss, die übrigen Wände und die Decke matt schwarz anstreichen und bestimmte nun an verschiedenen Stellen des Saales die Helligkeit, welche auf die diffus zerstreuten Strahlen einer vor der weissen Wand aufgestellten Lichtquelle erzeugt wurden.

Das interessanteste Resultat dieser Versuche Wybauw's ist das folgende.

In der nachstehenden Tabelle sei durch die Linie PP_1 die weisse Wand bei den Versuchen Wybauw's oder der weisse Plafond eines Saales dargestellt. Jede der horizontalen Linien sei von der benachbarten um 1 Mtr. entfernt.

	P								P_1
1 Mtr.	$L=100$								$L=25$
2 Mtr.	34	$L=100$				$L=50$			
3 Mtr.	61		$L=100$				$L=50$		12
4 Mtr.	73	47		$L=100$		24			15
5 Mtr.	83	57	44			30	19		17
6 Mtr.	90	67	50	39		32	26		18
7 Mtr.	96	73							

Befindet sich nun eine Lichtquelle L von 100 Kerzen Helligkeit 1 Mtr. von PP_1 entfernt, so erhält der senkrecht unter L, aber 2 Mtr. von PP_1 entfernte Punkt durch das diffus an PP_1 reflectirte Licht eben so viel Helligkeit, als wenn in P eine Lichtquelle von 34 Kerzen Helligkeit diesen 2 Mtr. entfernten Punkt direct beleuchten würde. Hiernach sind die übrigen Zahlen der Tabellen ohne weiteres verständlich. Man sieht, dass für einen 7 Mtr. unter der Decke liegenden Punkt (erste Reihe) die Wirkung der Decke fast der directen Beleuchtung der in 7 Mtr. aufzustellenden Lichtquelle gleichkommt. Zugleich geht aus der Tabelle aber hervor, von welch' grossem Einflusse auf die Stärke der Beleuchtung durch das diffus reflectirte Licht die Entfernung der Lichtquelle von der reflectirenden Decke resp. Wand ist. Wybauw wendet sich deshalb gegen eine Tabelle, welche in Uppenborn's Kalender für Elektrotechniker enthalten ist. Aus dieser Tabelle ist die Anzahl von Glühlampen zu entnehmen, welche zur Beleuchtung von Räumen von gegebenen Dimensionen nöthig sind. Es geht nun aus der Tabelle hervor, dass in fast allen Fällen auf eine Lampe 5·5 Qu.-Mtr. Bodenfläche kommen. Da aber die Entfernung der Lampen vom Plafond nach der Tabelle zwischen 2 und 10 Mtr. schwankt, so kann die Helligkeit der Bodenbeleuchtung nicht in allen Fällen die gleiche sein, da die Mitwirkung des Plafonds eine sehr ungleiche ist. Dazu kommt, dass mit der wachsenden Höhe der Räume nach der Tabelle auch noch die Entfernung der Lampen über dem Fussboden eine grössere wird, so dass die grösseren Säle nach der von Uppenborn gegebenen Tabelle geringer

beleuchtet sein werden als die kleineren Räume. Wybauw hat hierin allerdings Recht, doch ist die von Uppenborn angegebene Anzahl von Lampen für die grossen Säle wohl hinreichend, während die angegebene Anzahl für kleine Localitäten zu gross sein mag.

Interessant ist eine Vergleichung der Uppenborn'schen Tabelle mit Angaben über die Wahl von Siemens' Regenerativ-Gasbrennern, wie solche in einem Circular der Firma Friedrich Siemens & Comp. vom September 1883 zu finden ist. Siemens giebt die Helligkeit seiner Lampen in Gasflammen à 15 Kerzen an, während Uppenborn's Angaben sich vermuthlich auf Glühlampen von 16 Kerzen beziehen. Siemens nimmt keine Rücksicht auf die Höhe des Saales, setzt aber quadratische Grundflächen voraus.

Siemens			Uppenborn		
Bodenfläche in Quadratmeter	Helligkeit des Brenners in Gasflammen à 15 Kerzen	Höhe über dem Boden Meter	Bodenfläche in Quadratmeter	Anzahl von 16 Kerzenlampen	Höhe über dem Boden Meter
22·6	$3^1/_3$	$2—2^1/_2$	21·6	2—3	2—2·2
36	5	$2^1/_2—3$	31·4	5—6	2·2—2·4
64	$8^2/_5$	$3—3^1/_2$	66·25	9—12	2·5—2·8
144	21	4—5	152·25	25—30	3·5—3·8
225	$32^1/_2$	5—6	246·5	40—45	4·0—4·4
400	$58^2/_3$	6—7	400	100—120	5·6—6·3

Diese Zahlen zeigen bis auf die letzte Reihe eine merkwürdige Uebereinstimmung, sowohl in Bezug auf die anzuwendende Helligkeit, als auf die Höhe der Lampen

über dem Boden. Jedoch handelt es sich bei Siemens nur immer um einen Brenner, der die gesammte Helligkeit der einzelnen von Uppenborn geforderten Lampen besitzt, so dass die Beleuchtung mittelst des Regenerativbrenners in der Mitte des Saales bedeutend stärker, an den Enden dennoch nicht schwächer ausfallen wird, wie bei Anwendung einer grösseren Anzahl von Lampen mit geringerer Helligkeit, nur ist die Gleichmässigkeit der Beleuchtung eine geringere.

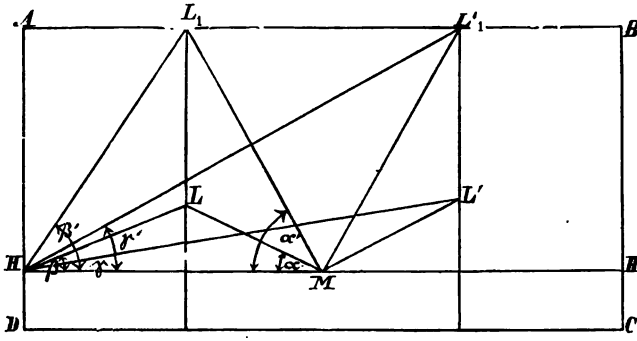
Bei der Behandlung der Aufgabe, in welchen Entfernungen von einander die Lichtquellen in einem geschlossenen Raume anzubringen sind, um eine möglichst gleichmässige Beleuchtung zu erhalten, sollte man nicht wie sonst wohl üblich, die Stärke der Beleuchtung des Fussbodens betrachten, sondern diejenige von Gegenständen, welche sich etwa 1 Mtr. über dem Fussboden befinden, da die Beleuchtung des Fussbodens selbst von keinem Interesse ist Sodann ist es auch hier, wie bei Beleuchtungen im Freien, falsch, sich immer nur mit horizontalen Flächen zu beschäftigen, da die in geschlossenen Räumen befindlichen Personen und Gegenstände Flächen in allen Richtungen besitzen. Bei der vorliegenden Aufgabe nimmt man deshalb am besten das Mittel aus der Beleuchtung horizontaler und verticaler Flächen.

Wie gross auch die Anzahl von Flammen sei, so genügt es, nur zwei Lichtquellen zu betrachten, um deren Entfernung von einander und von der Seitenwand zu bestimmen.

Ein Raum $ABCD$ habe die Länge $CD=2l$, die Ebene HH^1 sei 1 Mtr. über dem Fussboden DC, in L und L^1 befinden sich in der Höhe h über der Ebene

HH^1 zwei Lichtquellen von der gleichen Intensität I in der Entfernung $2x$ von einander und $(l—x)$ von der nächsten Wand. Die Decke befinde sich in der Höhe h^1 über der Ebene HH^1 und es sei ihre beleuchtende Wir-

Fig. 46.



kung durch zwei in den Punkten L_1 und L'_1, senkrecht über den wirklichen Lichtquellen, angenommene Lichtquellen von der Helligkeit kI dargestellt, wobei der Factor k aus den oben mitgetheilten Versuchen zu entnehmen wäre.

Dann ist die Helligkeit eines in M befindlichen verticalen Elementes

$$Mv = \frac{I \cos \alpha}{h^2 + x^2} + \frac{k I \cos \alpha'}{h'^2 + x^2}$$

und diejenige eines in H befindlichen ebenfalls verticalen Elementes

$$Hv = \frac{I \cos \beta}{h + (1 - x^2)} + \frac{k I \cos \beta'}{h'^2 + (l - x)} + \frac{I \cos \gamma}{h^2 + (l + x)^2} + \\ + \frac{k I \cos \gamma'}{h'^2 + (l + x)^2}$$

Für horizontale Elemente in M und H ergiebt sich

$$Mh = 2\left\{\frac{I\sin\alpha}{h^2+x^2} + \frac{kI\sin\alpha'}{h'^2+x^2}\right\}$$

$$Hh = \frac{I\sin\beta}{h^2+(l-x)^2} + \frac{kI\sin\beta'}{h'^2+(l-x)^2} + \frac{I\cos\gamma}{h^2+(l+x)^2} + \frac{kI\cos\gamma}{h'^2+(l+x)^2}$$

Soll die Beleuchtung in M und H dieselbe sein, so hat man zu setzen:

für verticale Gegenstände $Mv = Hv$

» horizonte » $Mh = Hh$

Diese transcendenten Gleichungen lassen sich nicht direct lösen. Setzt man deshalb specielle Werthe ein, nämlich

$$h = 1m;\ h' = 3m;\ k = 0{\cdot}5,$$

dann ergiebt sich

für verticale Gegenstände $x = 0{\cdot}47\,l$

» horizontale » $x = 0{\cdot}58\,l.$

Nimmt man hier das Mittel, setzt also $x = 0{\cdot}525\,l$, so müssten z. B. bei einem Raume von 10 Mtr. Länge die beiden Lichtquellen 5·25 Mtr. von einander und je 2·375 Mtr. von der nächstliegenden Wand entfernt sein. Bei mehr als zwei Lichtquellen gilt der Werth $2x$ immer für die Entfernung der Lichtquellen von einander und der Werth $(l-x)$ für diejenige der ersten und der letzten Lichtquelle von der nächsten Wand.

Welche Art der Lichtquellen in geschlossenen Räumen am besten anzuwenden ist, lässt sich nicht allgemein entscheiden. Zum Theil wird eine allgemeine Beleuchtung verlangt, zum Theil eine solche einzelner Punkte, manchmal auch eine Combination von

beiden. Allgemeine Beleuchtung wird gefordert werden in Bahnhöfen, Theatern, Concertsälen, Vorhallen und allen derartigen Räumen, deren Bestimmung sofort erkennen lässt, dass eine gute Beleuchtung nothwendig ist ohne Berücksichtigung specieller Punkte, und dass stets die Beleuchtung des ganzen Raumes und nie nur einzelner Theile desselben beabsichtigt wird. Sind diese Räume hoch genug, so empfiehlt sich vor allem die Anwendung starker Bogenlampen. Durch die grosse Ruhe der Lichtquellen und durch den Reflex von den Wänden wird ein ganz gleichmässiges Licht erzielt, ausserdem ist eine Blendung der Augen der Besucher ausgeschlossen.

Die entgegengesetzte Forderung wird aufgestellt in Fabriksräumen, Bureaux etc.; hier will der Arbeiter, der Schreiber meistens nur einen einzigen Platz, diesen aber intensiv beleuchtet haben, hier ist die Intensivbeleuchtung nicht am Platze, sondern die Anwendung einzelner kleiner Lichtquellen, also Glühlampen mit passenden Reflectoren oder matten Glasglocken.

In Restaurationssälen, Speisesälen, grossen Läden ist eine Combination beider Beleuchtungen wünschenswerth, um einzelne Punkte besonders gut zu erhellen und dabei eine gute allgemeine Beleuchtung zu erzielen. Hier giebt eine grössere Anzahl kleiner Bogenlampen von 3—500 Kerzen Helligkeit oder häufig neben derselben noch Glühlampen das beste Resultat.

Wybauw hat ein kleines Instrument construirt zur ungefähren Bestimmung der Anzahl Meterkerzen, welche an irgend einem Platze vorhanden sind, und nennt dasselbe Luxmeter. Dasselbe beruht auf der Erkennbarkeit von feinen Schriftzeichen auf einer matten Glasplatte,

welche durch eine kleinere oder grössere Anzahl halbdurchsichtiger Platten verdunkelt werden, bis sie zu verschwinden scheinen.

Das im Principe den Photometern von Hähnlein und Simonoff verwandte Instrument besitzt einen geringen Umfang, um in der Tasche getragen zu werden, gestattet aber natürlich aus verschiedenen Gründen nur sehr angenäherte Messungen.

In vorstehendem Abschnitte sind nur einige Beispiele angegeben, welche zeigen, wie man verfahren muss, um in den verschiedenen Fällen eine genügende und eine gleichmässige Beleuchtung zu erzielen. In der Praxis werden die zu beurtheilenden Fälle häufig anders, vielleicht auch complicirter liegen, doch geht der Elektrotechniker, wenn er seine Installationen auf derartige Rechnungen stützt, jedenfalls sicherer, als wenn er sich, wie wohl bisher vielfach geschah, nur auf »das Gefühl« verlässt. Der wichtigste, nie aus den Augen zu verlierende Punkt sei zum Schluss noch einmal hervorgehoben: es handelt sich bei Beleuchtungsanlagen nicht nur um die Helligkeit der einzelnen Lichtquellen, sondern um die Stärke der erzielten Beleuchtung. Die übliche Bezeichnung »x Kerzen auf 1 Qu.-Mtr.« sagt nichts über die Beleuchtungsstärke. Der Ausdruck ist beinahe ebenso fehlerhaft wie wenn man einen elektrischen Strom nur durch seine Intensität in Ampères definiren wollte, ohne die Spannung in Volts zu berücksichtigen. Die Einheit der Beleuchtung ist nicht die Kerze, sondern die Meterkerze.

VIII.

Der Lichtverlust durch Absorption.

Es wurde schon mehrfach in den vorhergehenden Abschnitten darauf hingewiesen, dass die Strahlen aller Lichtquellen in Folge des Durchganges durch die Atmosphäre einen Verlust durch Absorption erleiden.

Im luftleeren Raume verhalten sich die Helligkeiten der von einer Lichtquelle ausgesandten Strahlen umgekehrt wie die Quadrate der Entfernung. Durchschreiten die Strahlen aber irgend ein Mittel, so erleidet die Helligkeit eine Verringerung durch Absorption. Nennt man a den Transparenz-Coëfficienten, d. i. die relative Lichtmenge, welche die Längeneinheit hindurchlässt, so wird die Helligkeit als Function der Entfernung ausgedrückt durch die Formel

$$y = J \frac{a^x}{x^2},$$

wo J die Helligkeit, welche das von der Quelle ausgesandte Licht in der Entfernung 1 im leeren Raum haben würde und y die Helligkeit dieser Lichtquelle in der Entfernung x in einem absorbirenden Mittel ist.

Für die atmosphärische Luft ändert sich der Transparenz-Coëfficient a in sehr weiten Grenzen.

Aus von Bouguer angestellten Versuchen geht hervor, dass in einer Entfernung von 189 Toisen ein Hundertstel des Lichtes, in einer solchen von 7469 Toisen ein Drittel verloren geht. Nimmt man das Kilometer als Einheit der Entfernung an, so führen diese Versuchsresultate auf zwei Gleichungen:

$$a^{0{\cdot}3684} = 0{\cdot}99$$

und

$$a^{14\cdot5574} = 0\cdot67$$

welche beide für

$$a = 0\cdot973$$

ergeben.

Bei nebliger Luft wird aber dieser Coëfficient eine sehr geringe Grösse haben. Bei einem Nebel am 29. Januar 1861 in Paris fand Allard a auf 1 Km. bezogen $= (0\cdot62)^{1000}$, also $= 0\cdot62$ auf 1 Mtr. bezogen, dagegen fand er am 13. October 1877 bei klarer Luft für die ländliche Umgebung von Paris $a = 0\cdot903$, für das Innere der Stadt selbst $= 0\cdot442$, in beiden Fällen auf 1 Km. bezogen.

Der Transparenz-Coëfficient kann natürlich auf irgend eine Längeneinheit bezogen werden. Wenn a_k, a_h, a_d, a_m diesen Coëfficienten für denselben Zustand der Atmosphäre bezogen auf Kilometer, Hektometer, Decimeter und Meter bedeuten, so hat man die Relationen

$$a_k = a_h{}^{10} = a_d{}^{100} = a_m{}^{1000}$$

$$lg\, a_k = 10\, lg\, a_h = 100\, lg\, a_d = 1000\, lg\, a_m.$$

Es ist unmöglich, die Transparenz-Coëfficienten für die verschiedenen Zustände der Atmosphäre auf dieselbe Einheit zu beziehen. Der Werth für den oben besprochenen Nebel führt auf $a_k = (0\cdot62)^{1000}$, dessen Ausrechnung schwer hinzuzuschreiben wäre; nimmt man jedoch die Entfernung von 1 Mtr. als Einheit, so wird der Coëfficient $a_m = 0\cdot62$. Man wird deshalb zweckmässig für klares Wetter das Kilometer, für Nebel das Meter zu Grunde legen. Die Beziehungen zu beiden ergeben sich aus obigen Gleichungen.

Die Atmosphäre übt aber nicht allein eine Absorption aus auf die Strahlen der Lichtquellen, sondern diese Absorption ist eine äusserst ungleichmässige für die Strahlen von verschiedener Wellenlänge. Diese Absorption wird in weit grösserem Maasse auf die violetten Strahlen ausgeübt, als auf die rothen, d. h. der Transparenz-Coëfficient der weniger brechbaren Strahlen ist grösser als derjenige der brechbaren. In Folge dessen ist eine rothe Lichtquelle weiter sichtbar als eine blaue oder grüne, eine Erfahrung, welche man häufig zu machen Gelegenheit hat. In hohem Grade macht sich diese auswählende Absorption aber im Nebel geltend, alle Lichtquellen, selbst die weisse Scheibe unserer Sonne, erscheinen im Nebel roth, ein Beweis, dass bei dichtem Nebel nur die rothen Strahlen hindurchgelassen werden.

Aus den in früheren Abschnitten mitgetheilten Verhältnissen in der spectralen Zusammensetzung des elektrischen Bogenlichtes geht hervor, dass dasselbe verhältnissmässig sehr arm ist an rothen Strahlen, so dass es auf weite Entfernungen und hauptsächlich im Nebel gegen Oel- und Gaslicht entschieden im Nachtheile ist.

Solches ergab sich schon aus den ersten Versuchen über diesen Punkt, welche im Jahre 1874 am Signalthurm des Parlamentshauses in London unter Percy's und Priny's Leitung stattfanden. Ein ähnliches Resultat lieferten die im Howth-Baily-Leuchtthurme angestellten Proben; bei klarem Wetter konnte man in der Entfernung von 6 englischen Meilen mittelst des elektrischen Lichtes noch gewöhnliche Druckschrift lesen, während das Gaslicht nur einen schwachen Schatten an die Wand des dunklen Beobachtungszimmers warf; bei Nebel

wurde aber das elektrische Licht immer schwächer und verschwand viel eher als das Gaslicht. Schon auf $5^1/_4$ englische Meilen war bei Nebelluft das sogenannte quadriforme Gaslicht, dessen 108 Brenner eine Helligkeit von 5000 Kerzen hatten, dem elektrischen Lichte von 16.500 Kerzen überlegen.

Fig. 47.

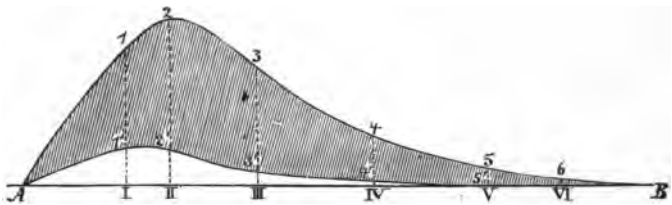
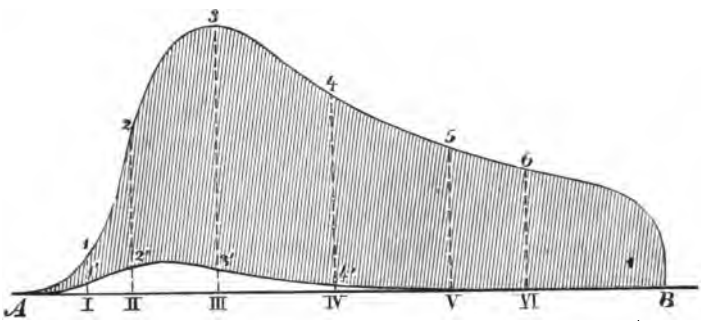


Fig. 48.



Zur Illustration des Vorstehenden mögen Fig. 47 und 48 dienen, welche dem Bericht über die Elektrische Ausstellung in Wien von Klein entnommen sind. Fig. 47 stellt die Intensitätscurve des Spectrums des Oellichtes, Fig. 48 diejenige des elektrischen Bogenlichtes von bestimmter Stärke dar. Die Linie $A\,1\,2\,3\,4\,5\,6\,B$ bezeichnet die Helligkeit der verschiedenen Farben bei

klarem Wetter, die Linie $A\ 1^1\ 2^1\ 3^1\ 4^1$ diejenige bei Nebelwetter, so dass die zwischen den beiden Linienzügen enthaltene schraffirte Fläche jenes Quantum von Lichtstrahlen darstellt, welches durch den Nebel absorbirt würde. Es beträgt dieses bei dem elektrischen Lichte 94·6%, beim Oel- oder Gaslicht 82·2% der Helligkeit bei heiterem Wetter. Hiernach würde der Nebel 5·4, resp. 17·8% hindurchlassen, so dass das elektrische Bogenlicht 3·3mal so hell sein müsste als das Oellicht, um bei den in dem Beispiele zu Grunde liegenden Nebel- und Entfernungsverhältnissen ebenso hell zu erscheinen als dieses. Damit ein elektrisches Licht im Nebel ebenso weit sichtbar sei wie eine Oellampe, muss man eigentlich die Forderung aufstellen, dass es ebenso viele rothe Strahlen enthalten müsse wie die Oellampe.

Nun ist nach früheren Mittheilungen das Roth im Spectrum eines elektrischen Bogenlichtes nur $^1/_5$—$^1/_3$ so hell wie im Spectrum eines Oellichtes von gleicher Gesammthelligkeit. Es muss also die Gesammthelligkeit des elektrischen Lichtes mehr als 3—5mal so gross sein als diejenige des Oel- oder Gaslichtes, um letzterem auch bei Nebel überlegen zu sein.

In den Jahren 1884 und 1885 wurden auf der South-Foreland-Lighthouse-Station erneute vergleichende Versuche angestellt mit Bogenlampen von 10.000 Kerzen Gaslampen-System Wigham von 2400 und Oellampen von 800 Kerzen Helligkeit. Vermöge der grossen Gesammthelligkeit zeigte sich das elektrische Licht selbst bei nebligem Wetter überlegen den anderen Lichtquellen, es war noch auf 1900—1500 Fuss = 519—457 Meter, das Gaslicht nur auf 1500—1250 Fuss = 457 bis

381 Mtr. Entfernung sichtbar. Bei klarem Wetter war das elektrische Licht 14 englische Meilen = 22·5 Km. sichtbar, während Gas und Oel schon bei 8 Meilen = 12·8 Km. nicht mehr zu sehen waren.

Bei der praktischen Anwendung erleiden die Lichtquellen fast immer einen Verlust durch Absorption in der Masse der angewendeten Glasglocken. Bei Benutzung von Bogenlampen sind die Glasglocken fast unvermeidlich wegen des starken Glanzes des Flammenbogens.

Dadurch, dass die Helligkeit des kleinen elektrischen Flammenbogens über die grosse Oberfläche einer umgebenden Glasglocke vertheilt wird, vermindert sich der Glanz der Lichtquelle in hohem Grade. Aber auch bei Glühlampen thut man gut, schützende Glasglocken anzuwenden, um ein Blenden zu vermeiden, wie ja auch Gasbrenner und Oellampen vielfach mit solchen versehen sind.

Es sind verschiedene Messungsresultate über die durch Glasglocken hervorgerufenen Lichtverluste bekannt. So fanden Le Blanc und Joubert bei den die Jablochkoff-Kerzen umgebenden Glasglocken einen Lichtverlust von 20—47%; Hefner-Alteneck theilt mit, dass matte Glasglocken etwa 50%, Alabasterglocken sogar 67% Licht absorbiren. H. Cohn fand bei Milchglasglocken einen Lichtverlust von 40—60%, bei matten Glasschalen einen solchen von etwa 33% und W. J. Dibdin bei den von ihm benutzten Opalglaskugeln 40%. Nach Messungen von Renk geben Milchglasglocken einen Lichtverlust bis zu 60%, sogenannte »Ueberfang-

Glaskugeln«, Kugeln aus gewöhnlichem Glase, welche mit einer Schicht einer dem Milchglase ähnlichen Glassorte überzogen sind, dagegen nur 36%, mit Fluorwasserstoff matt geätzte Kugeln sogar nur 30%. Die Glasglocken der elektrischen Glühlampen sind häufig zum Theil oder ganz geätzt, und zwar nur so weit, dass das Blenden vermieden wird, obgleich man den glühenden Kohlenfaden noch schwach erkennen kann, solche Glasglocken verursachen nach Renk's Messungen nur einen Verlust von 23·5%. In neuerer Zeit sind von der Firma G. A. Plewe in Berlin für Bogenlampen Glasglocken aus geeignetem Glase eingeführt worden, welche nach Messungen von H. W. Vogel nur 10—13% absorbiren sollen.

Es sei hier zum Schlusse noch kurz darauf hingewiesen, dass durch Anbringung geeigneter Reflectoren ein bedeutender Lichtgewinn erzielt werden kann. Cohn untersuchte das Reflexionsvermögen der trichterförmigen Lampenschirme und fand unter einer grossen Anzahl weiterer Resultate, wegen deren auf die betreffende Publication verwiesen werden muss, folgende interessante Resultate für die Beleuchtungswerthe senkrecht unter der Lampe.

Ohne Schirm	1	Meterkerze
Mit lackirtem Blechschirm	9	»
» polirtem »	64	»
» Milchglasschirm	30	»
» Papierschirm mit Glimmer . .	23	»
» halbkugeligem Reflector . . .	260	»

Aehnliche Versuche mit analogen Resultaten stammen auch von W. J. Dibdin her.

IX.

Die Spectrophotometrie.

Nachdem in den vorhergehenden Abschnitten häufig von der Vertheilung der Helligkeit im Spectrum der verschiedenen Lichtquellen, insbesondere des elektrischen Bogen- und Glühlichtes, die Rede gewesen ist, soll noch kurz angedeutet werden, welcher Art die Methoden und Apparate sind, welche zu den berichteten Resultaten führen. Hierbei muss jedoch die Kenntniss der Einrichtung der gewöhnlichen Spectralapparate vorausgesetzt werden, weil deren Beschreibung über den Rahmen dieses Werkes gehen würde.

Fraunhofer war der erste, welcher die Lichtstärke der einzelnen Theile des Sonnenspectrums zu bestimmen versuchte. Das von einem Prisma erzeugte Spectrum wurde mit einem Fernrohre betrachtet. Das halbe Gesichtsfeld war durch einen unter 45 Grad gegen die optische Axe geneigten Spiegel verdeckt, welcher das Licht einer kleinen Oellampe reflectirte. Diese Vergleichsflamme wurde in solche Entfernung gebracht, dass die Helligkeit des untersuchten Spectralbezirkes gleich derjenigen der Oelflamme zu sein schien. Bezeichnet man die grösste Lichtstärke des Spectrums zwischen den Linien *D* und *E* mit Eins, so giebt Fraunhofer für die Hauptlinien folgende Zahlen:

B	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	H
0·032	0·094	0·64	0·48	0·17	0·031	0·0056

Die Gründe, aus denen diese Methode nur geringe Genauigkeit haben kann, wurden bereits früher dargelegt.

Eine andere Methode schlug Vierordt und später Draper ein.

Er ersetzte die Scala an dem Scalenrohre seines Spectral-Apparates durch einen horizontalen Spalt, der durch Lampenlicht beleuchtet wurde. Ueber das Spectrum legte sich durch Reflexion dieses Spaltes an der letzten Prismenfläche ein weisser Streifen, während oberhalb und unterhalb desselben das Spectrum rein sichtbar war. Die Hilfslichtquelle wurde dann so weit geschwächt, bis eine Zumischung von weissem Licht zu der betreffenden Spectralfarbe nicht mehr erkannt werden konnte und die Helligkeit, mit welcher die Spalte dann beleuchtet war, als Maass für die Intensität der Spectralfarbe angenommen.

Vierordt's Resultate:

B	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	H
0·022	0·128	0·78	0·37	0·128	0·008	0·0007

zeigen eine ziemliche Uebereinstimmung mit denjenigen Fraunhofer's.

Wie M. de Lépinay und Nicati nahmen Crova und Lagarde als Maass der verschiedenen Theile des Spectrums diejenige Intensität, bei welcher von dem betreffenden Lichte beleuchtete feine Details sich noch unterscheiden lassen. Sie führen also die Sehschärfe des menschlichen Auges in die Untersuchung ein. Zu diesem Zweck wurde vor dem Spalte des Apparates eine Platte angebracht, auf die eine grosse Anzahl feine parallele Striche geritzt oder photographirt war, deren Richtung senkrecht zum Spalte stand. Das Spectrum erschien dann von feinen Strichen durchzogen und es wurde die Helligkeit verändert, bis diese Linien verschwunden waren.

Die Resultate, welche Crova und Lagarde nach dieser Methode erhielten, sind, wenn wieder das Maximum der Helligkeit (bei $\lambda = 564$) gleich Eins gesetzt wird für das Sonnenspectrum

B	*C*	*D*	*E*	*F*
0·005	0·015	0·625	0·172	0·35.

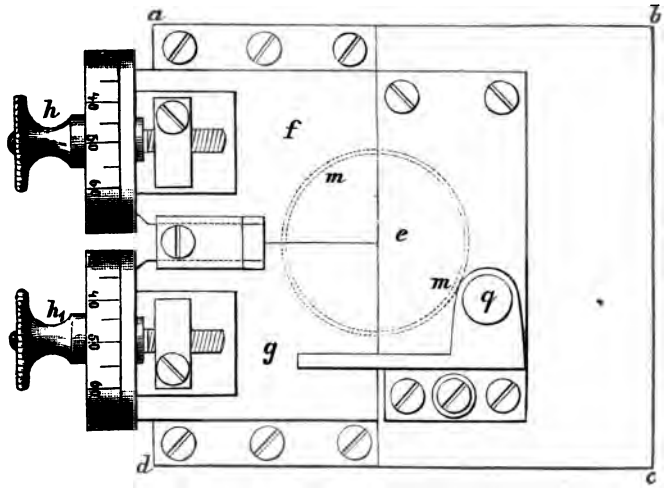
Diese Zahlen weichen natürlich in Folge des wesentlich anderen Maasses sehr von denjenigen ab, welche Fraunhofer und Vierordt erhielten.

Bei weitem wichtiger als die bisher besprochenen Methoden, die Helligkeit in den verschiedenen Theilen eines und desselben Spectrums unter sich zu vergleichen, sind für die elektrotechnische Photometrie diejenigen Mittel, welche erlauben, die Helligkeit eines bestimmten Spectralbezirkes einer Lichtquelle mit derjenigen desselben Bezirkes einer anderen Lichtquelle zu vergleichen. Diese letztere Methode der photometrischen Vergleichung hat vor Allem den grossen Vorzug, vollkommen exact und einwurfsfrei zu sein; der Vergleichung zweier gleichfarbiger Lichtquellen stehen keinerlei physiologische Bedenken gegenüber, welche auf die photometrische Vergleichung zweier ungleichfarbiger Lichtquellen so hindernd einwirken.

Die wesentlichste Veränderung des Spectralapparates zu diesem Zwecke, wie sie von Vierordt zuerst angegeben wurde, besteht darin, dass der gewöhnliche Eintrittsspalt des Apparates ersetzt wird durch einen Doppelspalt (Fig. 49). Die eine Schneide *e* desselben ist fest, die andere aber in eine obere *f* und eine untere Hälfte *g* getheilt; jeder derselben kann mittelst einer Mikrometerschraube h und h' eine genau messbare Weite

gegeben werden. Diesen beiden Spalthälften entsprechen im Beobachtungs-Fernrohre zwei übereinander liegende Spectren, welche gleich lichtstark sind, sobald beide Hälften des Spaltes dieselbe Breite besitzen, eine An-

Fig. 49.



nahme, welche von Vierordt durch eine sehr grosse Anzahl von Versuchen als durchaus zutreffend erwiesen wurde.

Bei allen Messungen darf man sich nur eines schmalen Spectralbezirkes bedienen, um einen Streifen möglichst homogenen Lichtes zum Versuche zu benutzen. Zum Herausschneiden eines solchen Spectralbezirkes aus dem übrigen Spectrum dient der Vierordt'sche Ocularspalt, welcher im Gesichtsfelde des Beobachtungs-Fernrohres an die zu untersuchende Stelle des Spectrums geschoben werden kann.

Lässt man nun die Strahlen der einen Lichtquelle auf die eine Hälfte des Spaltes fallen, diejenige der anderen, damit zu vergleichenden, Lichtquelle auf die andere Spalthälfte, so hat man nur durch Regulirung der Breiten beider Spalthälften Gleichheit der Helligkeit in beiden Spectren herzustellen und dann das Verhältniss der Helligkeit der beiden Lichtquellen für den betreffenden Spectralbezirk umgekehrt proportional dem Verhältniss der Breiten der beiden Spalthälften zu setzen.

Bei der von Vierordt angegebenen Einrichtung wird der Spalt einseitig, unsymmetrisch zur optischen Axe geöffnet, und da den beiden Spalthälften bei der Messung verschieden grosse Breiten gegeben werden, so werden zur Erzeugung des Bildes in der oberen und der unteren Hälfte des Ocularspaltes Strahlen von etwas verschiedener Wellenlänge beitragen und dadurch einen Fehler hervorrufen, welcher in vielen Fällen allerdings unwesentlich ist, jedoch unter Umständen auch eine erhebliche Grösse annehmen kann. Vierordt selbst hat die Grösse dieses Fehlers über das ganze Spectrum praktisch festgestellt und Dietrich theoretisch den Einfluss dieser unsymmetrischen Spaltverbreiterung bestimmt.

Zur Vermeidung dieses Fehlers hat Verfasser einen Doppelspalt mit symmetrischer Bewegung der Schneiden construirt. Bei demselben sind immer je zwei einander gegenüberliegende Spaltschlitten durch einen Hebel miteinander verbunden, und zwar derart, dass sich diese beiden Schlitten gleichmässig, aber in entgegengesetztem Sinne bewegen müssen; dabei bleiben ihre Schneiden stets symmetrisch zur optischen Axe. In Folge dessen

wächst die Helligkeit am Ocularspalt durch sich übereinander lagernde Spectren derart, dass zu jeder Stelle des Spectrums ebenso viele Strahlen beitragen von kleinerer als von grösserer Wellenlänge als diejenige Wellenlänge, welche der betreffenden Spectralstelle und dem Hauptstrahl in der optischen Axe des Collimators entspricht.

E. Voit und Verfasser haben ein Spectrophotometer nach Vierordt in einer Weise montirt, wie sie für elektrotechnische Zwecke zweckdienlich sein dürfte.

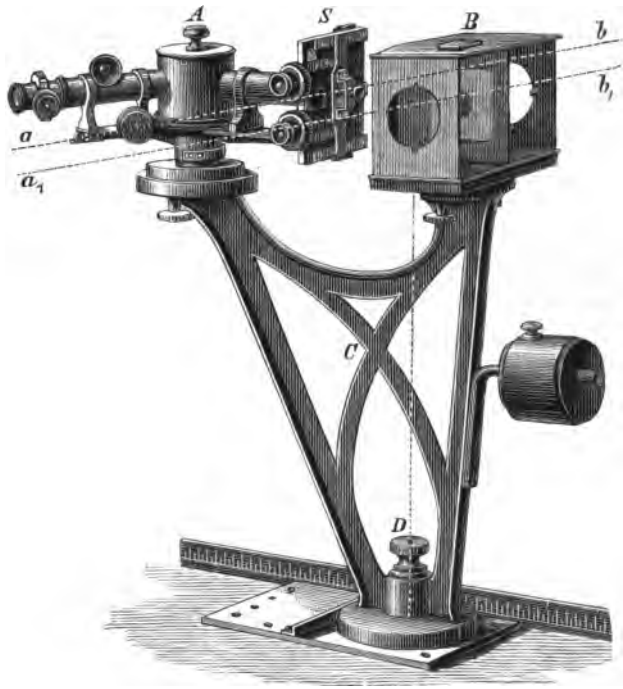
In Fig. 50 stellt A den Spectralapparat mit dem symmetrischen Doppelspalt S dar: B ist ein gewöhnliches Bunsen-Photometer. Beide Theile sind durch ein Gestell C verbunden; dieses ist um die Axe D drehbar. Der ganze Apparat kann auf einer Photometerbank zwischen den beiden mit einander zu vergleichenden Lichtquellen verschoben werden. Vor dem Doppelspalte S befinden sich zwei kleine Reflexionsprismen, das eine vor der oberen, das andere vor der unteren Spalthälfte; das eine reflectirt Licht von der einen, das andere Licht von der anderen Lichtquelle auf den Spalt. Wird der Apparat so aufgestellt, dass die Ebene des Spaltes in der Verbindungslinie $a\,b$ der beiden Lichtquellen liegt, so wird bei Drehung des ganzen Stativs um 180 Grad um die Axe D die auf der Mitte des Fettfleckes Senkrechte $a'\,b'$ in diese Verbindungslinie fallen. Man ist somit durch diesen Apparat in der Lage, unmittelbar nach einander die Gesammt-Intensität zweier Lichtquellen und die ihrer Helligkeit in einer bestimmten Spectralregion miteinander zu vergleichen.

Ein solcher Apparat wird mit Vortheil angewendet werden können, um festzustellen, wo in dem Spectrum

zweier Lichtquellen der Crova'sche neutrale Punkt liegt und wie sich dessen Lage verändert.

Während Vierordt die Verbreitung oder Verengung des Spaltes zur Regulirung der Lichtstärke des Spectrums benutzt, werden in den Spectralphotometern von Glan,

Fig. 50.



Hüfner, Trannin, Gouy, Crova, Wild polarisirende Mittel zu diesem Zwecke angewendet. Hier sei als Typus derartiger Instrumente nur das Glan'sche Spectrophotometer kurz skizzirt. Der einfache Spalt ist in der Mitte

durch ein darübergelegtes, 2 Millimeter breites Blech getheilt. Hinter demselben befindet sich ein Rochon'sches Prisma, dessen Hauptschnitt dem Spalte parallel steht und welches in Folge dessen von dem getheilten Spalte zwei Bilder erzeugt, die sich gerade berühren. Hierauf folgt ein Nicol'sches Prisma. Dreht man dieses so, dass sein Hauptschnitt mit demjenigen des Rochon'schen Prismas zusammenfällt, so verschwindet das eine Spaltbild; dreht man es um 90 Grad, so verschwindet das andere, in den Zwischenstellungen wird das eine Bild heller, das andere dunkler und es lässt sich dann leicht ein Punkt finden, wo beide in Bezug auf die untersuchten Stellen des Spectrums gleich hell sind. Musste das Nicol'sche Prisma zu diesem Zwecke aus seiner Null-Stellung um den Winkel α gedreht werden, so ist das Verhältniss der ursprünglich auf die beiden Spalthälften treffenden Helligkeiten

$$\frac{J}{J_1} = tg^2\alpha.$$

Der wesentlichste Nachtheil aller Polarisations-Spectrophotometer ist der, dass sie in Folge der Absorption in den polarisirenden Mitteln eine geringere Lichtstärke besitzen als der Vierordt'sche Apparat; dieser Mangel macht sich hauptsächlich im brechbareren Theile des Spectrums geltend, während er in manchen Fällen, in denen Licht genug vorhanden ist, nicht in Betracht kommt.

Die Vierordt'sche Einrichtung hat jedoch den besonderen Vortheil, dass sie sich mit Leichtigkeit an jedem gewöhnlichen Spectralapparate anbringen lässt.

Namen- und Sachregister.

A.

Abney 41, 64, 214.
Absorbirende Mittel 41.
Absorption des Lichtes in Luft 254.
» » » Glasglocken 259.
Allard 114, 161, 166, 180, 218, 255.
Amylacetatlampe 124.
Arago 42.
Argand 96.
Aubert 18.
Aufhängung der Bogenlampe 124.
Auge, Convergenz der Axen, 17.
» Durchmesser der Pupille, 15.
» als Helligkeitsmesser, 11.
» Unterschiedsempfindlichkeit 18.
Ayrton 42, 52, 56, 69, 93, 179.

B.

Barker 181.
Becquerel 69, 154, 179.
Bede 114.
Beleuchtung einer Ebene 229.
» von geschlossenen Räumen 243.
» eines Punktes 221.
» von Strassen und Plätzen 227.
Beleuchtungsvolumen einer Lichtquelle 234.
Beleuchtungswerth einer Lichtquelle 45.
Bernstein 215.
Bogenlampe, Aufhängung derselben, 90.
Bogenlampen, Intensitätsvertheilung, 160, 197.
Bogenlampen im Spectrum 59, 65.
Bouguer 18, 28, 218, 254.
Bunsen 32.

C.

Carcel-Lampe 97.
Casselmann 153.
Chatham, Versuche in, 178.
Chemische Strahlen 7.
Cohn H. 226, 259, 260.
Compensationsphotometer 74.
Congress in Paris 113, 133, 179.
Cornu 42, 114.
Crookes 181.
Crova 41, 59, 62, 114, 180, 263, 268.

D.

Davy 141.
Delboeuf 18.
Dibdin 87, 259, 260.
Dietrich 23, 265.
Dispersionslinsen 42, 51, 81.
Doppelspalt, symmetrischer, 265.
Douglass 157.
Draper 7, 69, 110, 262.
Dobrowolsky 26.
Drummond'sches Kalklicht 148.
Dumas 97, 106, 115.

E.

Einheit der Beleuchtung 224.
» des Lichtes 96.
Elektricitäts-Ausstellung in München 185.
Elektricitäts-Ausstellung in Paris 181.
» » » Philadelphia 210.
Elektricitäts-Ausstellung in Wien 205.
Erkennbarkeit von Gegenständen 45.

F.

Falsches Licht 95.
Farbiges Licht, Photometrie desselben 19.
Farbige Mittel 57.
Fechner 18.
Fizeau 42, 148.
Flächenhelligkeit 45.
Flammache 114.
Flammenmaass, optisches, 103.
Fontaine 163.
Foucault 30, 42, 148.
Fraunhofer 23, 261.

G.

Gerland 7.
Giroud 115.
Glan 268.
Glanz 217.
Glühlampen, Intensitätsvertheilung, 183, 197, 214.
Glühlampen im Spectrum, 61, 66.
Goethe 21.
Gouz 268.
Grundgesetz, photometrisches, 1.
Guthrie, 42.

H.

Hähnlein 41, 46.
Hagenbach 156, 181.
Hammerl 42.
Harcourt 125.
Hartley 87.
Hefner-Alteneck 38, 92, 126, 259.
Heilmann, Ducommun & Steinlen 156.
Helmholtz 18, 26.
Helligkeit der Sonne 150.
» des Kalklichtes 151.
» des Bogenlichtes 151.
Herschel 42.
Hopkinson 42.
Howell 184.
Hüfner 268.

I. J.

Jablochkoff'sche Kerze 167.
Jamieson 215.
Intensiv-Gasbrenner 145.
» Oellampe 157.
» Petroleumlampe 144.
Joubert 177, 181, 259.

K.

Kerzen 98.
Kerzenbrenner von Giroud 115.
Kerzen-Schmelzpunkt 110.
» stündlicher Verbrauch 109.
» Waage 107.
Kittler 206, 215.
Kohlenspitzen, glühende, 158.
Krüss 39, 94, 100, 103, 110, 209, 265, 266.
Kundt 181.

L.

Lacassagnac 154.
Lamansky 26.
Lambert 4, 16, 18.
Lange 97.
Latchinow 179.
Leblanc 180, 259.
Lepinay 25, 50, 69, 179, 262.
Leuchtende Wirkung der Strahlen 7.
Leuchtthurmversuche 156, 216, 258.
Lichtmaass 96.
Lichtstrahlung in verschiedenen Richtungen 85.

Literaturverzeichniss 269.
Locksyer 7.
Luse 224.

M.

Mascart 181.
Masson 18, 43.
Meterkerze 224.
Meyer O. E. 58, 61.
Möller W. 214.
Monnier 210.
Morton 183.
Mouton 7.
München, Elektricitäts-Ausstellung, 185.
München, Elektrotechnische Versuchsanstalt, 206.

N.

Napoli 41,
Neujean 114.
Newton 21.
Nicati 25, 262.
Nutzeffect der Lichtquellen 232.

P.

Pentangaslampe 115.
Perry 42, 52, 56, 89, 93.
Petroleumlampen 143.
Pfeffer 7.
Phänomen, Purkinje'sches, 22.
Photometer nach Ayrton und Perry 53.
Photometer nach Bouguer 28.
» Bunsen 31.
» Dibdin 87.
» Foucault 30.
» Hefner-Alteneck 38.
» Krüss 39, 74.
» Masson 44.
» Polarisations- 42.
» Ritchie 29.
» Rumford 31.
» Weber 46.
» Wheatstone 43.
Photorheometer nach Giroud 116.
Pickering 41, 59.
Pilate 154.
Platinlichteinheit 111, 132.
Potier 181.
Potter 29.
Preece 132, 215, 224.
Psychophysisches Gesetz 18.
Purkinje'sches Phänomen 22.

R.

Radial-Photometer 87.
Räumliche Lichtstärke, mittlere, 203, 205.
Reflectoren 260.
Reflex an weissen Wänden 246.
Regnault 97, 106.
Renk 221, 259.
Ritchie 29.
Rotirende Scheiben 42.
Rouen, Versuche in, 175.
Rousseau 180, 234.
Rumford 31.
Rüdorff 33, 100, 110.

S.

Sabine 41.
Sautter, Lemonnier, 62, 92, 93, 117.
Scalenphotometer 13.
Schiele 100.
Schneider 156.
Scholbred 180.
Schumann 66.
Schwendler 110.
Seebeck 7.
Selenphotometer 13.
Siemens Fr. 248.
» W. 13, 114, 137, 180, 216.
Simonoff, 42, 46.
Spectrum, Intensitätscurve 19, 261.
Spectrophotometrie 261.
Spiegel 17.
» Reflexions-, constante, 81, 93.
Steinheil 42.
Stevenson 41, 46.